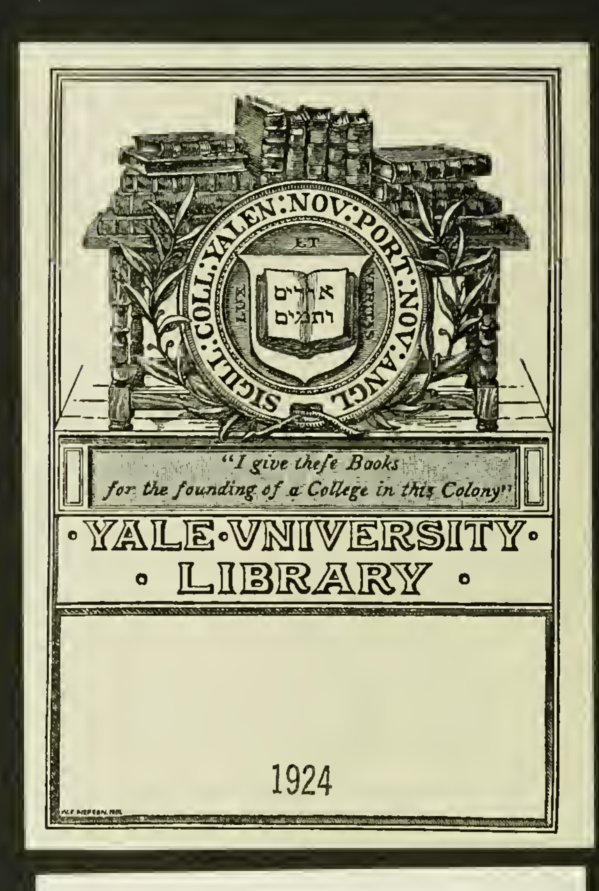
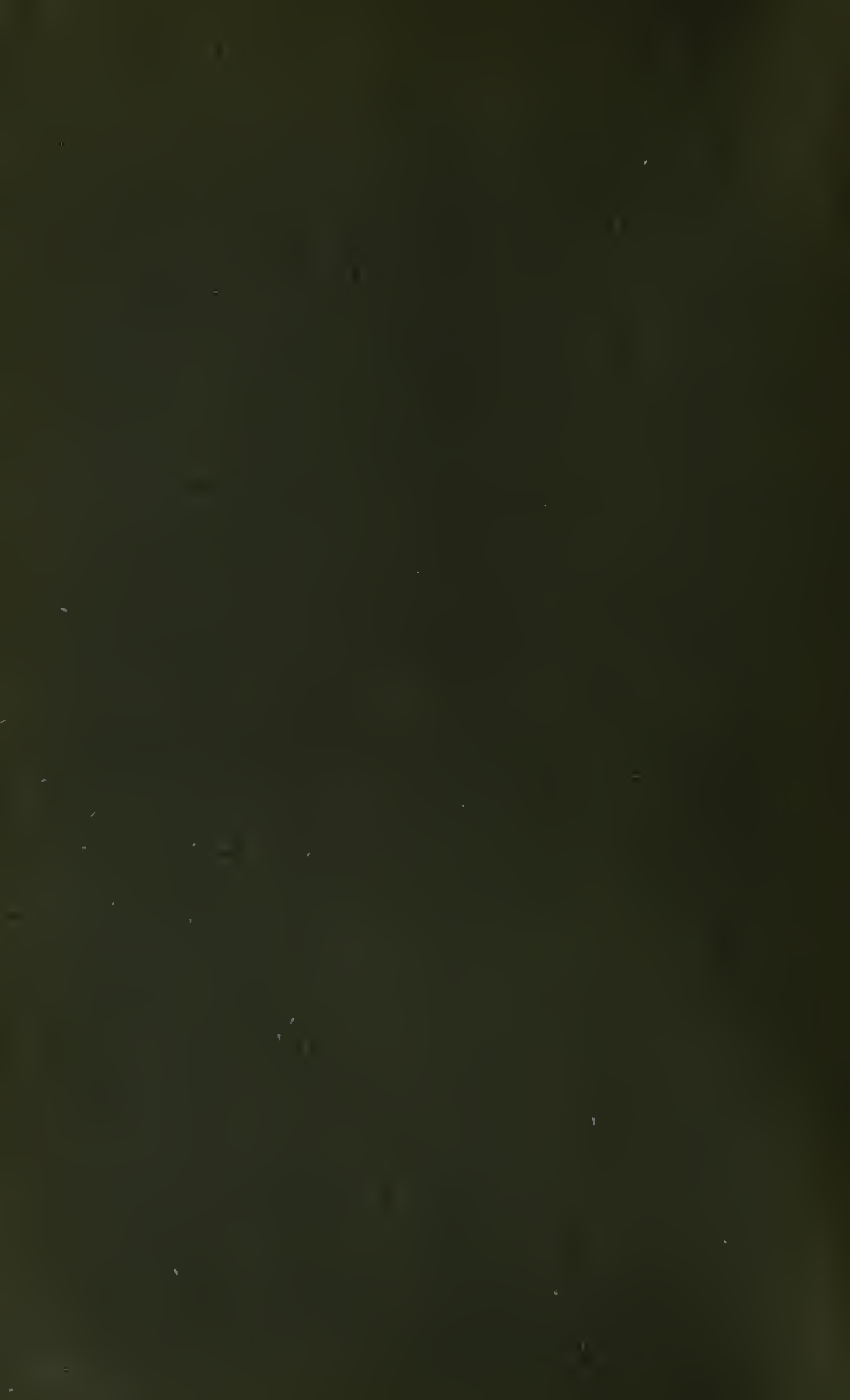



SIGILL:COLL:YALEN:NOV:PORT:NOV:ANGL
LUX ET VERITAS
אורים ותמים
"I give these Books for the founding of a College in this Colony"
·YALE·VNIVERSITY·
· LIBRARY ·
1924





Handbuch

der

Balneologie medizinischen Klimatologie und Balneographie

Herausgegeben im Auftrage der Zentralstelle für Balneologie

von

Wirkl. Geheimen Obermedizinalrat Prof. Dr. Dietrich

und

Prof. Dr. Kaminer

BAND III

Mit 17 Abbildungen und Kurven

Leipzig 1924 / Georg Thieme

Band III

Klimatophysiologie und Strahlenphysiologie



Inhaltsverzeichnis.

A.
Allgemeine Physiologie



Allgemeine Klimatophysiologie.

Von Prof. Dr. A. Loewy (Davos).

Mit 1 Abbildung.

A. Einleitung.

Klimabegriff im ärztlichen Sinne. Daten zur Geschichte der ärztlichen Klimatologie.

Die Aufgabe der Klimatophysiologie ist, die Wirkungen, die vom Klima auf die Lebewesen ausgeübt werden, festzustellen und auf die einzelnen, das Klima zusammensetzenden Faktoren ursächlich zurückzuführen. Die praktischen Gesichtspunkte, die diesem Handbuche zugrunde liegen, verlangen, daß im wesentlichen die Wirkungen auf den Menschen in Betracht gezogen werden. Somit gilt es zu erörtern, welchen Einfluß die einzelnen Klimaelemente für sich, wie auch das Klima als Ganzes auf die einzelnen Funktionen des gesunden Menschen ausüben, wie sein Gesamtbefinden sich unter den verschiedenen Klimata gestaltet, wie seine körperliche und geistige Leistungsfähigkeit sich einstellt, ferner wie seine Widerstandskraft gegen Krankheiten beeinflußt wird, und inwieweit das Klima selbst schädigend zu wirken imstande ist. Im weiteren Sinne wären auch die Verschiedenheiten zu besprechen, die in dem Heilungsverlauf von Krankheiten unter wechselndem Klima zur Beobachtung kommen, denn die Heilungsvorgänge sind ja ihrem Wesen nach physiologische Vorgänge, wenn sie auch am erkrankten Organismus ablaufen.

So aufgefaßt genügt, wie schon im ersten Bande S. 423 erwähnt ist, der Klimabegriff, wie er von den modernen Meteorologen, vor allem von Hann, angenommen ist, den Bedürfnissen des Biologen und Arztes nicht. Diesen näher kam die ältere Definition Alexander v. Humboldts, der als Klima „alle Veränderungen der Atmosphäre" bezeichnete, „die unsere Organe merklich affizieren". Mit dieser Begriffsbestimmung, die das Klima mit dem Wohlbefinden des Menschen in Beziehung bringt, läßt sich die ärztlich gangbare und in weiten Volksschichten eingebürgerte Bezeichnung eines gesunden und ungesunden Klimas in Verbindung setzen, jedoch nicht mit der meteorologisch unanfechtbaren, von v. Hann[1]) stammenden, wonach Klima den mittleren Zustand der Atmosphäre an einer bestimmten Stelle der Erdoberfläche bezeichnet.

Dazu kommt, daß in Hinsicht auf die Wirkung des Klimas auf den Menschen nicht allein, ja vielleicht nicht einmal in erster Linie, der mittlere Zustand der Atmosphäre, die Mittelwerte der einzelnen klimatischen Elemente von Bedeutung sind, vielmehr gerade die Schwankungen dieser Elemente, also die stündlichen oder

[1]) v. Hann, Handbuch d. Klimatologie. 3. Aufl. Bd. 1, S. 1. Stuttgart 1908.

täglichen Änderungen sei es der Lufttemperatur, sei es der Luftfeuchtigkeit, der Luftbewegung, der Strahlung usw. eine besondere Rolle spielen.

Diese Schwankungen beeinflussen uns in ungünstigem wie in günstigem Sinne. In ungünstigem, insofern starke, plötzliche Wechsel der Lufttemperatur und der Luftfeuchtigkeit Anlaß zu Erkrankungen mannigfacher Art geben können, die die Schleimhäute, die Gelenke, die Muskeln betreffen, und unter dem allgemeinen Namen der Erkältungskrankheiten zusammengefaßt werden; in günstigem, indem weniger schroffe Übergänge, denen die Regulationseinrichtungen des Körpers gewachsen sind, Reaktionen auslösen, durch die eine Reihe von Organen in Tätigkeit gesetzt wird. Das führt bei häufigerer Wiederholung zu einer Übung dieser Organe. Insbesondere kommt hier das Hautorgan in Betracht, so daß der Wechsel der Klimareize an sich einen Stärkungs- bzw. Heilfaktor darstellt.

In unserem gemäßigten Klima wirkt in diesem Sinne schon der Wechsel der Jahreszeiten. Die erschlaffende Wirkung des Tropenklimas rührt nicht allein von der absoluten Höhe der Lufttemperatur und der Luftfeuchtigkeit her, vielmehr auch von ihrem dauernden, fast unveränderlichen Bestande. In heißen Sommern können wir in unseren Breiten ähnliche Witterungsverhältnisse haben, insbesondere Temperaturen, die die tropischen noch übersteigen; aber sie bestehen nur tagsüber, während die Nächte meist Abkühlung, also erhebliche Änderungen der thermischen Klimafaktoren, bringen und uns so die Tageshitze erträglicher machen.

Es wäre allerdings zu weit gegangen, den klimatischen Tages- oder Monatsmitteln jede Bedeutung abzusprechen; denn der Mittelwert der täglichen oder monatlichen Lufttemperatur oder der Energie der Sonnenstrahlung entspricht, worauf Hann[1]) hinweist, der mittleren Wärme, den Wärmesummen des Mediums, in dem wir leben, und diese sind mitbestimmend für die Temperatur unserer Wohnräume und des Erdbodens, die an unserem Wohlbefinden erheblichen Anteil haben.

Anknüpfend an die Humboldtsche Auffassung, in der allerdings keine Scheidung gemacht ist zwischen Klima und Wetter, hat Rubner[2]) als Klima „alle durch die Lage eines Ortes bedingten Einflüsse auf die Gesundheit“ bezeichnet. Diese Definition ist speziell vom Standpunkte der Hygiene gewählt. Allgemeiner ließe sich vielleicht sagen, daß unter Klima im physiologischen Sinne die Summe aller für einen Ort typischen atmosphärischen und terrestrischen Zustände zu verstehen sei, durch die unser Befinden unmittelbar beeinflußt wird.

Typisch für den Ort sollen die atmosphärischen und terrestrischen Zustände sein, um sie als klimatisch zu scheiden von den Einwirkungen der jeweiligen Witterung, und unmittelbar, da von Luft und Erde auch Einflüsse ausgehen, denen wir unterworfen sind, die uns aber nur indirekt treffen.

Man könnte diese Fassung des örtlichen Klimabegriffes zunächst für zu weit halten. Gemeinhin wird angenommen, daß klimatische Einflüsse auf zwei Wegen dem Körper vermittelt werden: durch die Haut und ihre Sinnesorgane und durch die Lungen. Die gewöhnlichen Klimafaktoren wirken ja auch auf diesen Wegen. Aber es gibt Klimaeigenschaften, die über andere Sinnesorgane unseren Körper und Geist erreichen. Unbestreitbar dürfte dies für das Geruchsorgan sein. Der Harzgeruch der Tannenwälder ist sicherlich ein Bestandteil des Waldklimas, der Gras- und Blütenduft der Wiesen und Felder ist ebenso mit dem Klimabegriff verknüpft. Aber auch optische Eindrücke gehen vom Klima aus. Wir sprechen von einem heiteren Klima. Dieser Begriff kann nur durch das Sehorgan in unserem Be-

---

[1]) Hann, Österreichisches Bäderbuch. S. 31. Wien 1914.

[2]) M. Rubner, Lehrbuch der Hygiene. Wien 1903.

wußtsein ausgelöst werden. Vom ärztlichen Standpunkte aus müssen aber weiter auch die durch das Auge uns übermittelten Eindrücke der Berge und Täler, der Wasserfälle und Sturzbäche als zum Wesen des Bergklimas gehörig betrachtet werden, der Wellenschlag als Teil des Seeklimas; denn der Arzt muß auf die Wirkung dieser Faktoren bei der Verordnung von Klimakuren Rücksicht nehmen und den Einfluß mit in Anschlag bringen, den sie auf das körperliche wie auch auf das seelische Verhalten ausüben.

Letzteres darf nicht unbeachtet bleiben. Das Klima beeinflußt erheblich unsere Gefühle, unsere Stimmung, es kann zu lust- oder zu unlustbetonten Vorstellungen führen, und durch diese gewinnt es wieder Einfluß auf unsere vegetativen Funktionen: auf die Herztätigkeit, die Atmung, den Appetit, die Verdauungsorgane.

Die Klimatophysiologie als experimentelle Wissenschaft hat noch keine lange Geschichte. Daß das Klima die Funktionen des Menschen beeinflußt, ist lange bekannt, aber einigermaßen erstaunlich ist doch, welche Einsicht bereits Hippokrates[1]) in die herrschenden Zusammenhänge gehabt hat. Er weist bereits nicht nur auf den Einfluß hin, den die Lage eines Ortes nach der geographischen Breite auf den menschlichen Organismus ausübt, sondern berücksichtigt auch die sog. Exposition eines Ortes (vgl. Bd. I, S. 489), ferner die herrschenden Winde, er unterscheidet die freie Lage auf einer Höhe von der eingeschlossenen in einem Kessel.

Gleichwie Hippokrates äußert sich auch Galen[1]) über die Klimawirkungen auf den Menschen, aber er bringt sie bereits mehr mit der Pathologie, mit der Krankheitsentstehung und mit der Krankheitsheilung in Verbindung. Galen bespricht den Einfluß, den ein Aufenthaltswechsel, den Land- und Seereisen, den das Aufsuchen trockener und hochgelegener Orte ausüben, er erörtert den günstigen oder schädlichen Einfluß von Winden, je nach ihrer Richtung und je nach dem Terrain, über das sie hinwehen. Galen scheint als erster die Bedeutung des Höhenklimas, insbesondere in seinem Werte für die Behandlung der Lungenschwindsucht, erkannt und gewürdigt zu haben.

In der Neuzeit hat zuerst der Halleuser Professor Friedr. Hoffmann, einer der berühmtesten deutschen Ärzte des 18. Jahrhunderts, sich wieder eingehender mit klimatophysiologischen und -therapeutischen Fragen befaßt und in verschiedenen Veröffentlichungen sich darüber geäußert. Von da ab blieb das Interesse an der medizinischen Klimatologie rege, und es entstand eine umfängliche Literatur auf diesem Gebiete. Allerdings handelte es sich bis hierher immer nur um reine Erfahrungstatsachen, die wesentlich aus der Krankenbeobachtung gewonnen wurden. Die experimentellen Grundlagen, die die Erkenntnis schaffen sollten, wie ein Klima im allgemeinen und die einzelnen klimatischen Elemente im besonderen auf den menschlichen Organismus wirken, und in welcher Weise diese Wirkungen imstande sind, den nützlichen oder schädlichen Einfluß des Klimas gegenüber Krankheiten zustande kommen zu lassen, sind erst sehr spät geschaffen worden. In dem halben Jahrhundert, das etwa seit dem Beginn exakter klimatophysiologischer Studien verflossen ist, ist ein sehr umfassendes Tatsachenmaterial zusammengetragen worden, durch das die erste Frage nach der Wirkung der einzelnen Klimafaktoren auf die verschiedenen physiologischen Funktionen des Menschen weitgehend gelöst worden ist. Aber die zweite Frage, welche Vorstellung wir uns auf Grund der physiologischen Beein-

[1]) Zitiert bei Pagel, Handbuch d. physikal. Therapie I, 1 (1901).

flussung von der Art der Klimawirkung bei pathologischen Vorgängen machen sollen, ist erst wenig gefördert worden. In dieser Hinsicht ist der Hauptteil der Arbeit erst noch zu leisten.

Die ersten experimentellen Untersuchungen betrafen die Feststellung des Einflusses der einzelnen Klimaelemente auf das physiologische Geschehen. Diese Feststellung konnte nur dadurch gemacht werden, daß man ausschließlich das in Betracht kommende Klimaelement willkürlich in seiner Stärke und Art veränderte, die übrigen jedoch unbeeinflußt ließ; und diese Aufgabe war nur löslich durch Laboratoriumsversuche. Daher beruhen unsere heutigen Anschauungen von der Bedeutung eines jeden Klimaelementes: der Lufttemperatur, der Feuchtigkeit, der Luftbewegung, des Luftdruckes, der Strahlung für die physiologischen Vorgänge im wesentlichen auf solchen Laboratoriumsversuchen. Sie sind insbesonders in umfänglicher Weise von Rubner und seinen Schülern, weiter auch von der Zuntzschen Schule in Angriff genommen worden.

Aber die so gewonnene Kenntnis gibt uns noch keine Einsicht in die Wirkung eines bestimmten Klimas; denn in diesem kombinieren sich die verschiedenen Klimafaktoren in mannigfacher Weise, und die Wirkung dieses Zusammenspieles kann nur durch Untersuchung in dem betreffenden Klima selbst ermittelt werden. Auch solche Versuche sind im letzten Vierteljahrhundert in zunehmendem Maße durchgeführt worden. Zuerst im Tropenklima Niederländisch-Indiens von Glogner und besonders umfassend von Eijkmann, denen für das Tropenklima Afrikas eine Reihe deutscher Forscher (Plehn, Däubler, Schilling u. a.) folgte. Sodann im Höhenklima von Kronecker, Mosso, Miescher, Zuntz und seiner Schule, Durig und Schülern u. a. in Europa. Neuerdings von Haldane und Mitarbeitern in Nordamerika, von einer Anzahl englischer und amerikanischer Forscher in den südamerikanischen Anden. Weiter wurde das Seeklima in Angriff genommen von Loewy und Genossen, dann das Polarklima von Krogh und Lindhardt, endlich auch das Wüstenklima von Bickel, Loewy, Wohlgemuth, Schweitzer.

So sind nacheinander alle Klimate der Erde in ihrer eigentümlichen Wirkung auf den Menschen erforscht worden. Wie diese spezifischen Wirkungen der einzelnen Klimate sich darstellen, wird in besonderen Abschnitten geschildert werden. Zu ihrem Verständnis ist jedoch die Kenntnis der physiologischen Bedeutung der einzelnen Klimafaktoren Vorbedingung und mit diesen hat sich die allgemeine Klimatophysiologie vorwiegend zu befassen. —

Nach der einleitend gegebenen Begriffsbestimmung muß man die Klimafaktoren in zwei große Gruppen scheiden: in atmosphärische und terrestrische. Beide stehen miteinander in Wechselwirkung und verändern einander gegenseitig; in mancher Hinsicht zeigen sie in ihrer Wirkung gewisse Gegensätze. Beide können in doppelter Weise auf uns wirken: indem sie unsere körperlichen Funktionen direkt beeinflussen oder indem sie Eindrücke der höheren Sinne — vor allem optische Wahrnehmungen — in uns hervorrufen, die ihrerseits wieder bestimmte Funktionen auslösen. Letzterer Vorgang findet sich ausgesprochener bei den terrestrischen Faktoren, ersterer bei den atmosphärischen.

Beiderlei Klimafaktoren wirken auf unsere körperlichen und auf unsere seelischen Funktionen, auf erstere aber mehr die atmosphärischen, auf letztere die terrestrischen.

Da es unsere Aufgabe ist, in erster Linie die körperlichen Funktionsverhältnisse unter der Wirkung der Klimafaktoren zu untersuchen, müssen die atmosphärischen in den Vordergrund gestellt werden.

B. Die Wirkung der physikalischen Klimafaktoren.

1. Die Wärmefaktoren des Klimas[1]).

Bei der Betrachtung der einzelnen Klimafaktoren müssen diejenigen in den Vordergrund gestellt werden, die die Wärmezufuhr und die Wärmeabgabe vom Körper umfassen. Sie sind es, von denen in erster Linie die Beurteilung des Klimas abhängig gemacht wird. Schon in der Einteilung der Klimate in warme (bzw. heiße), gemäßigte, kalte liegt dieser Gesichtspunkt ausgedrückt; auch die Annehmlichkeit und Bekömmlichkeit eines Klimas hängt eng mit seinem Wärmewert zusammen.

Dieser ist, wie heute allseitig anerkannt ist, nicht nur von der Temperatur der uns umgebenden Atmosphäre abhängig, vielmehr sind — wie später im einzelnen dargelegt werden wird — von erheblichem Einfluß auf unsere Wärmeverhältnisse neben dieser auch die Luftfeuchtigkeit, die Strahlungsverhältnisse und die Luftbewegung. Man faßt diese Faktoren nach Rubner, der ihre Zusammengehörigkeit in dieser Hinsicht zuerst betont und genauer untersucht hat, als Wärmefaktoren zusammen. Ihre Wirkung kann sich zu der der Lufttemperatur addieren, kann aber auch deren Einfluß herabsetzen.

a) Die Lufttemperatur.

α. Ihre Beziehung zur Wärmeerzeugung.

Zunächst muß erörtert werden, in welcher Weise der Wärmegrad der uns umgebenden Luft an sich auf unsere physiologischen Funktionen einwirkt Vor allem äußert er sich auf die Verhältnisse unserer Wärmeökonomie. Aber Temperaturen, die über das gewohnte Mittel einigermaßen hinausgehen, insbesondere extreme Temperaturen, und zwar sowohl erhöhte wie erniedrigte, sind nicht auf diese einseitige Wirkung beschränkt, beeinflussen vielmehr daneben auch in allgemeinerer Weise die Tätigkeit unseres Zentralnervensystems.

In bezug auf die Wärmeökonomie verhält sich der Mensch nach der heute geltenden Anschauung anders als die höheren Säugetiere; beiden aber — wie überhaupt allen homoiothermen Tieren — gemeinsam ist die Notwendigkeit, bei Änderungen der Außentemperatur Einrichtungen in Tätigkeit zu setzen, durch die sie instand gesetzt werden, ihre Körpertemperatur auf der normalen Höhe zu halten.

Wären solche Einrichtungen nicht vorhanden oder funktionierten sie nicht, so würden die homoiothermen Wesen sich wie die poikilothermen verhalten, ihre Körpertemperatur würde mit der Außentemperatur gleichsinnig auf und ab schwanken.

Die die Konstanz der Körperwärme gewährleistenden Einrichtungen stehen unter der Herrschaft nervöser Zentren.

Natürlich ist es nicht angängig, jede Änderung der Körpertemperatur, die einer Verletzung irgendeiner Stelle des Zentralnervensystems folgt, als durch eine Schädigung eines Wärmezentrums verursacht anzusehen. Wenn durch hohe Rückenmarkdurchschneidung ein Sinken der Körpertemperatur eintritt, wie dies meist bei Säugetieren und am Menschen festgestellt worden ist, so erklärt sich dies einfach durch die nach der Durchschneidung eintretende Lähmung fast aller willkürlichen Muskeln, wozu noch die zugleich erfolgende Lähmung der Vasomotoren beiträgt. Es wird die Wärmebildung vermindert, die Wärmeabgabe gesteigert. Auch die Spannungen oder die Zitterbewegungen, die bei Kälteeinwirkung beim Menschen und Warmblüter zustande kommen, können einfache Rückenmarksreflexe sein. Ja man könnte das ganze Zusammenspiel von Vorgängen, die der Gleicherhaltung der Körpertemperatur dienen,

---

[1]) Ein großer Teil des experimentellen Materials unter besonderer Berücksichtigung der Wärmeökonomie findet sich zusammengefaßt bei Peters, Vierteljahrsschr. f. gerichtl. Med. 49, S. 266 (1915).

durch Reflexübertragung ohne Zuhilfenahme besonderer Zentren erklären, wie dies Tigerstedt[1]) versucht hat.

Aber gewisse Tatsachen sprechen doch für das Vorhandensein bestimmter, der Wärmeregulierung dienender Zentren.

Von einem Wärmezentrum kann man nur reden, wenn die Erregung oder Lähmung einer ganz bestimmten Stelle der Zentralorgane auf die Körperwärme verändernd einwirkt. Eine solche Stelle ist zuerst von Ott[2]), etwas später von Aronsohn und Sachs[3]) angegeben worden. Sie befindet sich am medialen Rande des Corpus striatum. Reizung durch Stich oder elektrische Reizung führen zu einer fieberhaften Steigerung der Körperwärme mit den dem Fieber eigentümlichen Änderungen im Stoffwechsel. Der normale Reiz für dieses Zentrum ist aber die Temperatur selbst. Erwärmt man das Zentrum dadurch, daß man erwärmtes Wasser an ihm vorüberströmen läßt, so treten Vorgänge ein, die zu einer Abkühlung des Körpers führen, bei Vorbeiströmen kalten Wassers solche, die seiner Abkühlung entgegenwirken[4]).

Nach pathologischen Erfahrungen scheint auch beim Menschen im Corpus striatum ein Wärmezentrum gelegen zu sein[5]).

Neuere Versuche von Krehl und Isenschmidt[6]), Isenschmidt und Schnitzler[7]), Leschke und Citron[8]) haben die enge Beziehung des Zwischenhirns zum Wärmeregelungsvermögen genauer kennen gelehrt: Durchschneidung des Zwischenhirns hebt die normale Wärmeregulierung und die Fähigkeit zu fiebern auf.

Die Einrichtungen, die der Konstanterhaltung der Körpertemperatur dienen, arbeiten in so vollkommener Weise, daß die normale Körperwärme auch bei extremen Unterschieden der Umgebungstemperaturen fast unverändert erhalten bleibt. Aufenthalt in Luft bis hinab zu 2° C bei leichter Bekleidung ändert die Rektaltemperatur des Menschen nicht deutlich; selbst in Bädern bis hinab zu 26,5° C und bis zu einer Stunde Dauer sinkt sie entweder gar nicht, oder nur um 2—5 Zehntelgrade. Ja in einzelnen Fällen kann sie vorübergehend steigen[9]). Umgekehrt tritt bei übermäßig hohen Temperaturen bis zu 30°, ja 40° C kein Steigen der Körpertemperatur ein. Im Tropenklima (Näheres s. dortselbst) liegt sie auf der gleichen Höhe wie im Polarklima.

Wie der Mensch vermögen auch Säugetiere und Vögel äußerst niedrige Temperaturen dauernd zu ertragen, ohne eine Änderung der Körpertemperatur gegenüber den in wärmeren Klimaten gefundenen zu erfahren. So wurde gefunden[10]):

Tabelle 1.

	Körpertemperatur C°	Außentemperatur C°	Temperaturdifferenz C°
bei Polarfüchsen	38,3—41,1	—32,5 bis —35,6	72,2—76,7
„ Wolf	40,5	—32,8	73,3
„ weißer Hase	38,3	—29,4	67,7
„ Schneehuhn	42,4—43,3	—19,7 bis —38,8	62,1—82,1

Da der Stand der Körpertemperatur das Ergebnis ist des Zusammenwirkens von dauernder Wärmeerzeugung und dauernder Wärmeabgabe, könnte die Konstanterhaltung der Körperwärme zustande gebracht werden durch Veränderung jeder dieser beiden Funktionen: bei Abnahme der Lufttemperatur durch Vermehrung

[1]) R. Tigerstedt, Nagels Handbuch d. Physiol. Bd. I S. 602. Braunschweig 1909.
[2]) Ott, Journ. of nervous and mental diszases 11 (1884).
[3]) Aronsohn und Sachs, Pflüg. Arch. 37 S. 232 (1885).
[4]) Barbour, Arch. f. exper. Path. u. Pharm. 70 S. 1 (1912).
[5]) White, Journ. of physiol. 11 S. 1 (1890) und 12 S. 233 (1891).
[6]) Krehl und Isenschmidt, Arch. f. exper. Path. u. Pharm. 70 S. 109 (1912).
[7]) Isenschmidt und Schnitzler, Arch. f. exper. Path. u. Pharm. 76 S. 202 (1914).
[8]) Leschke und Citron, Zschr. f. exper. Path. u. Ther. XIV S. 379 (1913).
[9]) A. Loewy, Üb. d. Wärmeregulation d. Menschen. Pflüg. Arch. 46 S. 189 (1889).
[10]) Nach Rosenthal, Hermanns Handb. d. Physiol. IV 2 S. 334. Leipzig 1878.

der Wärmeerzeugung oder durch Einschränkung der Wärmeabgabe, bei Erhöhung der Lufttemperatur durch den umgekehrten Vorgang.

Nun kann die Wärmeerzeugung in sehr weiten Grenzen gesteigert werden. Bei mäßiger Muskelarbeit um das 2—3fache, bei intensiverer um das 5fache, bei Gipfelleistungen zeitweilig bis zum 10fachen des Ruhewertes. Es wäre also möglich, daß bei sinkender Lufttemperatur die ceteris paribus damit verbundene Wärmeentziehung durch eine entsprechende Steigerung der Wärmebildung ausgeglichen würde.

Beim Aufenthalt in niedrig temperierter Umgebung sollte nun bei den hömoiothermen Lebewesen die Steigerung der Umsatzprozesse etwas Gesetzmäßiges darstellen in dem Sinne, daß parallel mit dem Sinken der Außentemperatur der Stoffumsatz zunimmt, so daß die Körpertemperatur im wesentlichen gewahrt bleibt.

Das glaubte Liebermeister[1]) für den Menschen gezeigt zu haben und auch aus einigen Versuchsreihen von Wolpert und Rubner ging dies hervor. Aber letztere Autoren fanden in anderen Versuchen das Gegenteil, nämlich keine Abnahme, vielmehr einen Anstieg bei hohen Lufttemperaturen, so daß ein gesetzmäßiges Verhalten, für den Menschen wenigstens, sich aus ihren Versuchen nicht ergibt[2]).

Sicher schien dagegen die der Außentemperatur umgekehrt verlaufende Intensität des Stoffwechsels aus Versuchen an Säugetieren hervorzugehen. Solche sind zahlreich ausgeführt worden, besonders von Rubner, der für den Vorgang die Bezeichnung „chemische Wärmeregulation" einführte.

Rubner[3]) fand zum Beispiel am hungernden Hunde:

Tabelle 2.

Außentemperatur C⁰	Kalorien pro Kilogramm und Stunde
a) 11,8	40,6
12,9	39,1
15,9	36,0
17,5	35,2
b) 13,4	39,7
19,5	35,1
27,4	30,8

am hungernden erwachsenen Meerschweinchen:

Tabelle 3.

Außentemperatur C⁰	Temperatur des Tieres C⁰	CO_2-Abgabe pro Kilogramm und Stunde
0	37,0	2,905
11	37,2	2,151
21	37,4	1,766
26	37,0	1,540
30	37,7	1,317
35	38,2	1,273
40	39,5	1,454

[1]) Liebermeister, Handbuch d. Path. u. Ther. des Fiebers.

[2]) Wolpert, Arch. f. Hyg. Bd. 33 S. 206 (1898); Bd. 36 S. 294 (1899); Bd. 39 S. 298 (1901); Rubner, ebenda Bd. 38 S. 120 (1900).

[3]) M. Rubner, Biolog. Gesetze. Marburg 1887 und Die Gesetze des Energieverbrauchs usw. Leipzig 1902.

In diesen Beispielen steigt mit sinkender Umgebungstemperatur der Stoffumsatz progredient an. Es handelt sich um einen reflektorischen Vorgang, der durch Beeinflussung der Muskulatur zu der veränderten Energientwicklung führt[1]. Aber mit dem Worte „chemische Wärmeregulation" bezeichnet Rubner noch etwas anderes. Es soll nämlich der gesteigerte Umsatz in den Muskeln nicht mit einer Tätigkeit derselben zusammenhängen, also nicht mit Muskelbewegung; höchstens, daß ein erhöhter Tonus in ihnen zustande käme.

Neueste Untersuchungen lassen es zweifelhaft erscheinen, ob eine chemische Wärmeregulation in diesem Sinne bei Säugern wirklich vorkommt.

Für den Menschen besteht sie jedenfalls nicht. Für diesen wurde zuerst von Loewy[2] nachgewiesen, daß Wärmeentziehung durch Aufenthalt in niedrig temperierter Luft oder in kalten Wasserbädern gar keine Änderung der Wärmeproduktion auszulösen braucht. Sie kann auftreten, die Wärmebildung kann steigen, aber das geschieht durch reflektorische Einleitung von Muskelbewegungen, die sich in Spannungen, Frostschauern, Zitterbewegungen äußern. Die Zunahme der Wärmebildung kann dann erheblich sein und 30, 50, 90% der Ruhewerte und mehr ausmachen.

Loewys Versuche wurden später durch Johansson[3] bestätigt, der fand, daß die Werte der gebildeten Kohlensäure sich innerhalb ziemlich weiter Temperaturgrenzen gleich blieben, gleichgültig ob die Versuchsperson sich der Außenluft nackt aussetzte oder warm bedeckt im Bette lag.

Auch bei Rubner und Lewaschew[4] finden sich Versuche, aus denen das Nichtbestehen einer Abhängigkeit des Stoffumsatzes beim ruhenden Menschen von der Außentemperatur hervorgeht. So in folgendem Beispiel (die Versuchsperson befand sich während des Versuches in Sommerkleidung):

Tabelle 4.

Außentemperatur C⁰	CO_2-Abgabe pro Stunde g	Bemerkungen
12,8	27,9	Zittern
12,4	31,2	
13,9	26,2	Zum Schluß Zittern
15,3	24,2	
24,9	23,9	
25,8	22,9	
27,3—27,7	24,9; 27,3; 24,3	Zuweilen Schweiß
30,0	23,7—28,2	Fast konstant Schweiß

Eine Steigerung der Zersetzungsvorgänge findet sich zwar bei den niedrigsten Temperaturen, aber diese haben Zitterbewegungen ausgelöst. Bei der Außentemperatur von 15,3° C ist dagegen der Stoffumsatz fast ähnlich mit dem bei 24,9°, also einer um fast 10° höheren Temperatur. Er bleibt dann annähernd konstant bis zu 27,7°, um bei 30° wieder zu steigen.

Wenn, sei es durch den chemischen Tonus, wie es wahrscheinlich bei den homoiothermen Tieren der Fall ist, oder durch reflektorische Anregung von Muskelbewegungen, wie beim Menschen, der Stoffumsatz und damit die Wärmebildung steigt, sobald

[1] Röhrig und Zuntz, Pflüg. Arch. Bd. 4, 1871.
[2] Loewy, Pflüg. Arch. 46 S. 189 (1889).
[3] Johansson, Skand. Arch. f. Physiol. 7 S. 123 (1897).
[4] Rubner und Lewaschew, Arch. f. Hyg. 29 S. 53 (1897).

die Umgebungstemperatur genügend sinkt, so erhebt sich die Frage, welches die Grenze ist, bei der diese regulatorischen Vorgänge einsetzen.

Für ihre Entstehung, jedenfalls beim Menschen, kommen zwei Vorgänge in Betracht, erstens das Kältegefühl, das eine plötzliche Abkühlung der Haut hervorruft, sodann die bei längerer Kälteeinwirkung eintretende Wärmeabgabe vom Körper mit beginnendem Sinken der Körpertemperatur.

Der psychische Reflex kommt für die Wärmeregulierung durch vermehrte Wärmebildung wenig in Betracht, denn die durch ihn hervorgerufenen Frostschauer sind vorübergehend, bei längerer Einwirkung einer gleichtemperierten Umgebung stumpft sich die Kältewahrnehmung bald ab, und damit nimmt dieser psychische Reflex ein Ende. Dafür aber wirkt nun, intensiver, dauernder und schwer in seiner Wirkung unterdrückbar, der Reiz, der durch die allmählich einsetzende Abnahme der Körpertemperatur gegeben ist. Der Grad der Temperaturerniedrigung des Körpers, bei der die Muskeln zur Tätigkeit gebracht werden, ist individuell verschieden. Aus den oben besprochenen Versuchen von Loewy[1]) ergibt sich, daß dies schon bei einem Sinken um 0,3° der Fall war, aber vereinzelt bei 0,8° noch nicht einzutreten brauchte. Ebenso fand Stern[2]), daß Muskelzittern eintrat bei Körpertemperatursenkungen um 0,0 bis 0,8°.

Die so zustande kommende Mehrbildung von Wärme setzt nun ein bei ganz verschiedenartigen Außentemperaturen, selbst wenn nur der Aufenthalt in Luft (nicht in Wasser) ins Auge gefaßt wird. Eine Rolle spielt hier einerseits die Beschaffenheit der Luft, ob trocken oder feucht, ob ruhig oder bewegt, andererseits die Beschaffenheit des betroffenen Individuums, ob es fett oder mager ist; bei Tieren, ob sie im Hungerzustande oder während der Verdauung sich befinden, ob sie stark behaart oder geschoren sind, und dementsprechend beim Menschen, ob er nackt oder mehr oder weniger bekleidet ist.

Bei dem in Körperruhe verharrenden Menschen beginnt die chemische Wärmeregulation einzusetzen bei einer Lufttemperatur von etwa 22—24° C, wenn er unbekleidet ist; bei gewöhnlicher Bekleidung bei etwa 15° C. Beim nüchternen Hunde beginnt sie unterhalb 30° Lufttemperatur, beim reichlich mit Eiweiß gefütterten bei etwa 15°, braucht aber noch nicht bei 7° einzusetzen, wie aus Versuchen von Rubner[3]) hervorgeht.

Daß bei reichlich gefütterten Hunden die durch die chemische Wärmeregulation gegebenen Abwehrvorrichtungen gegen Wärmeentziehung erst bei sehr viel niedrigeren Umgebungstemperaturen einsetzen, erklärt sich daraus, daß bei dem Umsatz der zugeführten Nahrung Wärme frei wird, die dem Körper zur Verfügung steht, so daß er nicht oder doch nur in viel beschränkterem Maße durch die Wärmeregelungseinrichtungen Wärme zu erzeugen braucht.

Auch der Mensch verträgt Kälte besser während der Verdauung reichlicher Nahrung als im Hunger. Auch ihm kommt die dabei erhöhte Wärmeerzeugung zugute, zugleich aber wird auch das Kältegefühl vermindert durch die in der Verdauungsperiode gewöhnlich eintretende Erweiterung der Hautgefäße und die damit verbundene bessere Durchblutung und Erwärmung der Haut.

Wie umfänglich die Haarbekleidung bei Tieren die chemische Wärmeregulation einzuschränken imstande ist, ergibt sich aus einem Versuche Rubners[4]), in

[1]) A. Loewy, Pflüg. Arch. Bd. 46 S. 189 (1889).
[2]) Stern, Zschr. f. klin. Med. 20 S. 63 (1892).
[3]) Rubner, Gesetze des Energieverbrauchs usw. Leipzig 1902. An verschiedenen Stellen.
[4]) Rubner, Arch. f. Hyg. 20 S. 366 (1894).

denn bei einem ungeschorenen Tiere die Wärmebildung bei 20° nur so groß war, wie bei einem geschorenen bei 30° —

Aber die Steigerung der Wärmebildung als Mittel gegen die Abkühlung stellt doch nur die eine Seite der Regulationsvorgänge dar und beim Menschen nicht einmal die wesentliche. Viel wichtiger ist bei ihm die von der Haut ausgehende Regelung, durch die die Wärmeabgabe beschränkt wird. Sie besteht bekanntlich in einer Kontraktion der Haut- und Hautgefäßmuskeln, durch die die Haut blutärmer und damit kühler und fester wird. Dadurch werden die Wärmeleitung vom Inneren des Körpers her und der Wärmeverlust durch Strahlung und Verdunstung herabgesetzt. Auf die Einzelheiten wird später noch eingegangen werden.

Hier sei nur erwähnt, daß aus den oben angeführten Versuchen von Loewy hervorgeht, daß die Verminderung der Wärmeabgabe allein imstande sein kann die Konstanz der Körpertemperatur aufrechtzuerhalten, also eine vollkommene Regulierung zu bewirken, daß dagegen da, wo die Körpertemperatur zu sinken begann, eine Steigerung der Verbrennungsprozesse nicht imstande war, das Sinken aufzuhalten. Beim Menschen wenigstens erweist letztere sich als wenig wirksam.

Der Stoffumsatz oberhalb der Grenze, bei der die Umsatzsteigerungen infolge von Kältereizen zu steigen beginnen, stellt das normale Stoffwechselminimum dar. Die Werte für Sauerstoffverbrauch und Kohlensäureausscheidung, die man hier bei Körperruhe und im nüchternen Zustande findet, bilden den sog. „Erhaltungsumsatz", dessen Niveau sich aus dem Umfang der Tätigkeit der dauernd funktionierenden Organe, also des Herzens, der Atemmuskulatur, einer Anzahl von Drüsen, ferner aus den auch im Stadium der sog. Ruhe ablaufenden Stoffwechselprozessen aller Gewebe zusammensetzt[1]). Die Werte für den Erhaltungsumsatz bleiben konstant innerhalb eines breiten Anstieges der Außentemperatur, ihre schließliche Änderung hängt nur mit der endlich eintretenden Unfähigkeit des Körpers, seine Eigenwärme zu bewahren, zusammen. Steigt die Außentemperatur immer höher, so genügen die gegen die immer weitere Beschränkung der Wärmeabgabe bezw. gegen die zunehmende Wärmezufuhr vorhandenen Einrichtungen nicht mehr und die Körperwärme beginnt zu steigen. Je nach dem Verhalten der Atmosphäre, ob feucht oder trocken, ob bewegt oder ruhig und je nach der Beschaffenheit des Individuums liegt die Temperaturgrenze der Luft, bei der die Regulationsmechanismen gegen Wärmezufuhr ungenügend werden, ganz verschieden hoch. Sie kann bei 30 bis 35° C liegen unter günstigen Umständen. Auf die hier in Frage kommenden Einzelheiten wird später eingegangen werden.

β. Verhalten der Wärmeabgabe bei hohen Lufttemperaturen.

Welches sind nun die Regelungseinrichtungen, die gegenüber übermäßiger Wärmezufuhr bzw. abnorm verminderter Wärmeabfuhr in Tätigkeit treten, um eine Wärmestauung zu verhüten. Theoretisch könnte es sich auch hier um zweierlei Vorgänge handeln, einerseits um Verminderung der Wärmebildung, andererseits um Steigerung der Wärmeabgabe.

Der erstere Vorgang, der ein Hinabgehen unter das Erhaltungsminimum bedeuten würde, kommt als maßgebender Faktor nicht in Betracht. Vereinzelt finden sich bei Wolpert und Rubner[2]) Werte, in denen die Kohlensäurebildung bei 35—40° C niedriger liegt, als die bei 20—35°, aber hier müssen irgendwelche besonderen Um-

---

[1]) Näheres bei: Loewy, Handb. d. Biochem. 2. Aufl. Bd. VI S. 190 (1923).

[2]) Rubner, Arch. f. Hyg. 38 S. 123 (1900).

stände mitgespielt haben. Als Regel gilt dies Verhalten nicht, und dieselben Forscher haben in anderen Fällen an Stelle der Senkung eine Zunahme des Umsatzes gesehen.

Plaut und Wilbrand[1]) geben an, daß durch Lichtbogenbestrahlung hervorgerufenes Schwitzen, sofern die Körpertemperatur dadurch nicht gesteigert war, nur ausnahmsweise zu geringer Steigerung des Umsatzes führte, stets jedoch, wenn die Körpertemperatur anstieg. Hier beruht also die Umsatzsteigerung auf dem Anstieg der Körperwärme. Dagegen war Schwitzen durch Pilokarpineinspritzung stets mit stärkerer Gaswechselsteigerung verbunden. — Pl. und W. schließen hieraus, daß, da ja auch Schwitzen infolge Erwärmung zu einer Umsatzsteigerung führen müsse, das Fehlen letzterer bei Körpertemperaturkonstanz sich durch eine kompensatorische Erniedrigung des Umsatzes, eine „zweite" chemische Wärmeregulation, die der bisher bekannten entgegengesetzt verläuft und eine Schutzreaktion des Körpers darstellt, zu erklären sei.

Wieweit diese Anschauung zutrifft, muß erst durch weitere Versuche erwiesen werden. Die Richtigkeit der Ergebnisse von Pl. und W. vorausgesetzt, würden sie nur die Rückgängigmachung der durch die Schweißdrüsenarbeit erzeugten Mehrproduktion von Energie bedeuten, keine Energieverminderung unter die Norm.

Jedenfalls spielen gegenüber der Gefahr der Überwärmung Änderungen des Stoffwechsels nicht eine ausschlaggebende und ganz sichergestellte Rolle. Die ganze Wärmeregelung ist hier wesentlich auf die Veränderung der Wärmeabgabe gestellt.

Eine Wärmeabgabe vom Körper findet dauernd unter allen Bedingungen statt. Aber nicht nur ihr Umfang, vielmehr auch die Art, wie sie zustande kommt, wechselt je nach dem Verhalten der Umgebung ungemein. Deshalb sind die hierüber gemachten Angaben immer nur als Einzelfälle, die für ganz bestimmte Versuchsbedingungen zutreffen, anzusehen, so die von Helmholtz[2]), Rosenthal[3]) und Rubner[4]), oder bestenfalls als Mittelwerte, die bestimmten atmosphärischen Verhältnissen zukommen, so die von Atwater[5]). Aber als Konstanten sind die angegebenen Zahlenwerte nicht zu betrachten. Sie können nur die Größenordnung erkennen lassen, die den verschiedenen Wegen, auf denen die Wärmeabgabe erfolgt, zukommt.

Denn die Wärmeabgabe erfolgt auf vielerlei Wegen, von denen je nach den Bedingungen der eine oder andere besondere Wichtigkeit erfährt.

Einen ganz geringen Anteil macht die Wärmeabgabe aus, die für die Erwärmung der eingenommenen Nahrung und der eingeatmeten Luft erforderlich ist. In einem Falle Rubners berechnete sich erstere zu 1.5%, letztere zu 1.2% der Gesamtwärmeabgabe; Helmholtz berechnete sie für das von ihm angenommene Beispiel zu 2,6—5,2%.

Ebenso gering ist der Anteil der Wärmebindung, die mit der Abgabe der Kohlensäure in den Lungen in Zusammenhang steht. Er würde etwa 3.9%[6]) betragen.

Es blieben danach 90—94% der Wärmeabgabe, die durch Leitung und Strahlung der Wärme und durch Wasserverdunstung zustande kommen. Für die Abgabe durch Leitung, Strahlung und einen Teil der Wasserverdunstung kommt das Hautorgan in Betracht, für einen weiteren Teil der Wasserverdunstung die Lungen.

[1]) R. Plaut und E. Wilbrand, Zur Physiologie des Schwitzens. Zschr. f. Biol. 74 S. 191 (1922).

[2]) Helmholtz, Artikel „Wärme" im Enzyklopäd. Wörterbuch d. medizin. Wissenschaften. 35. Berlin 1846 (auch Wissenschaftl. Abhandlungen 2, 720).

[3]) J. Rosenthal, Hermanns Handbuch d. Physiol. IV, 2. Leipzig 1882.

[4]) Rubner, Arch. f. Hyg. 27 S. 69 (1896).

[5]) Atwater, U. S. Departm. of agricult. Bull. 136 S. 143 (1904).

[6]) R. Tigerstedt, Nagels Handbuch d. Physiol. I S. 582. Braunschweig 1909.

Die absolute Größe der Wärmeabgabe und die Verteilung auf die verschiedenen, eben genannten Wege schwanken nun außerordentlich je nach den atmosphärischen Bedingungen.

Was zunächst die Wasserverdunstung von den Lungen anlangt, so geht sie in der Weise vor sich, daß die eingeatmete Luft in ihnen mit Wasserdampf gesättigt wird, so daß die Ausatmungsluft mit einer Temperatur von 32,5—34,0° C wasserdampfgesättigt den Körper verläßt[1]).

Für die Menge des durch die Lungen abgegebenen Wassers ist danach die Temperatur der eingeatmeten Luft und deren Wassergehalt maßgebend.

Nehmen wir an, die Einatmungsluft sei 15° C warm und — wie meist in unseren Breiten — zu 60% mit Wasserdampf gesättigt, so würde sich berechnen, daß sie rund 7,6 mg Wasser im Liter enthält. In 24 Stunden werden bei gewöhnlicher Betätigung ohne Arbeitsleistung durch körperliche Berufsarbeit rund 10000 l Luft geatmet. Diese enthalten demnach 76 g die in den Körper eingeführt werden. Bei 33° mit Wasserdampf gesättigt, enthält 1 l Luft, etwa 36 mg Wasser, 10000 l also 360 g. Der Körper verdunstet demnach durch die Lungen 360 — 76 = 284 g Wasser. Diese entsprechen, da die latente Wärme des Wasserdampfes 0,537 Cal beträgt, 152 Cal. Nehmen wir an, daß der tägliche Umsatz und damit auch die tägliche Wärmeabgabe 2700 Cal ausmachen, so würden die von der Lunge abgegebenen 152 Cal nur 6,4% der gesamten Wärmeabgabe ausmachen. Ebenso berechnet sich, daß bei einer Lufttemperatur von 5° mit 60% Wasserdampfsättigung 178 Cal von den Lungen bei der Wasserverdunstung abgegeben werden, das sind 6,6%, und bei 25° Lufttemperatur mit 60% Wasserdampfsättigung 117,2 Cal, d. h. 4,34%.

Bei gleicher Wasserdampfsättigung der Außenluft nimmt also die Wasserabgabe von den Lungen mit steigender Temperatur dauernd ab, beteiligt sich also immer weniger an der Wärmeabgabe. Aber im allgemeinen spielt, wie vorstehende Zahlen ergeben, die Wasserverdunstung von der Lunge als Entwärmungsfaktor überhaupt eine nebensächliche Rolle.

Natürlich nimmt sie zu, wenn die Lungenventilation gesteigert wird. Das ist der Fall bei durch Muskelarbeit verstärkter Arbeit, ferner wenn die Atmungsluft zur Stimmbildung benutzt wird, beim Sprechen, Lesen, Singen. Von klimatischen Faktoren verändert starke Luftbewegung die Atmungsgröße. Aber es handelt sich hier immer nur um vorübergehende Steigerungen, denen eine eingeschränkte Atmung folgt. Die 24stündige Wasserabgabe wird dadurch nicht ausschlaggebend beeinflußt.

Die Hauptbedeutung für die Entwärmung des Körpers kommt dem Hautorgan zu. Rund 85% der gesamten Wärmeabgabe werden von ihm geleistet. Diese Wärmemenge wird nun sowohl durch Leitung und Strahlung, wie durch Wasserverdunstung abgegeben. Auf die Verteilung auf erstere beiden Größen einerseits, auf Verdunstung andererseits ist nun auch wieder die Temperatur der Luft von ausschlaggebender Bedeutung. Allerdings tritt hier die Feuchtigkeit als ein Faktor in Erscheinung, der mehr als es bei der Wasserverdunstung von den Lungen der Fall ist, die Wirkung der Temperatur zu verändern vermag, und auch die Luftbewegung, die auf die Wasserabgabe von den Lungen gar keinen Einfluß hat, sofern nicht die Atemgröße dadurch gesteigert wird.

Die Wasserverdunstung von der Haut ist derjenige Faktor, der der experimentellen Bestimmung am ehesten zugänglich ist. Es müssen dabei streng zwei Quellen für das von der Haut abgeschiedene Wasser auseinandergehalten werden. Die erste

[1]) A. Loewy und H. Gerhartz, Pflüg. Arch. Bd. 155 S. 231 (1913).

ist gegeben in den rein physikalischen Vorgängen der Diffusion von Wasser durch die Haut und seiner Verdunstung von der Oberfläche, die zweite ist an die Tätigkeit der Schweißdrüsen geknüpft, also abhängig von einem biologischen Faktor. Der erstere Anteil wird dauernd abgegeben, der zweite nur bei Bedarf. Denn die Schweißdrüsentätigkeit ruht für gewöhnlich und wird nur durch bestimmte Reize angeregt, von denen hier allein die übermäßige, sei es lokale, sei es allgemeine Wärmezufuhr bzw. eine mangelhafte Wärmeabgabe und damit ein Steigen entweder nur der Hauttemperatur oder der Körpertemperatur im ganzen in Betracht kommen.

Daß das Hautwasser eine doppelte Herkunft hat, wurde erwiesen durch Versuche, die Loewy und Wechselmann[1]) an Personen anstellten, deren Haut durch eine angeborene Anomalie frei von drüsigen Bestandteilen (Schweiß- und Talgdrüsen) war. Die Wasserabgabe von ihrer Haut war genau so umfänglich wie die normaler Personen, solange bei diesen keine Schweißsekretion durch die Bedingungen, unter denen die Versuche ausgeführt wurden, erzeugt wurde.

Von Loewy[2]) ist der Einfluß, den wechselnde Außentemperaturen auf die physikalische Hautwasserabgabe haben, genauer verfolgt worden. Er fand, daß ihre Menge bei zwischen 14° und 24° schwankenden Lufttemperaturen und bei mittlerer relativer Feuchtigkeit zwischen 75 und etwa 375 g pro Quadratmeter und 24 Stunden beträgt, daß die Differenzen in der Menge des abgegebenen Wassers nicht in alleiniger Abhängigkeit von der Beschaffenheit der umgebenden Atmosphäre, besonders nicht von deren Temperatur stehen, vielmehr daß wesentlich bestimmend für die physikalische Verdunstungsgröße der Zustand des Hautorgans ist. Dabei sind wirksam sowohl individuelle Verschiedenheiten in der Beschaffenheit von Haut und Unterhaut (Dicke der Unterhautfettschicht), wie auch regionäre bei derselben Person. Dazu gesellen sich Verschiedenheiten in der Durchblutung, in der Feuchtigkeit und damit in der Temperatur der Haut, die auch unter gleichen atmosphärischen Verhältnissen zu beobachten sind. Die Temperatur der Umgebung beeinflußt danach die physikalische Wasserverdunstung nur in dem Umfange und Sinne, wie sie die Temperatur der Haut und in Zusammenhang damit ihr anatomisches Verhalten, besonders ihren Blutgehalt, verändert.

Zunahme der Durchblutung durch Erweiterung der Blutgefäße der Haut führt zu Erwärmung der Haut und damit zu Steigerung der Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung. Dabei wird das durch die Haut strömende Blut selbst kühler, und je mehr durch die Haut strömt, um so stärker ist sein Wärmeverlust.

Da die Änderungen, die in der Weite der Hautblutgefäße durch Temperatureinflüsse zustande kommen, individuell und zeitlich an der gleichen Person wechseln, lassen sich Normalwerte in absoluten Zahlen für die physikalische Wasserverdunstung bei verschiedenen Lufttemperaturen nicht angeben. Man kann nur sagen, daß sie innerhalb der oben genannten Grenzen bei höheren Temperaturen höher zu liegen pflegen als bei niedrigeren.

Von erheblichem Einfluß ist der Wassergehalt der Atmosphäre. Ist er sehr gering, so steigt die Wasserverdunstung. Bei sehr geringer Feuchtigkeit und hohen Temperaturen kann sie sehr erhebliche Werte erreichen. Das geht aus Beobachtungen im Wüstenklima hervor (Näheres vgl. Kapitel „Wüstenklima" dieses Bandes). Hier konnten Bickel, Loewy, Wohlgemuth Wasserabgaben durch die Haut bis zu 2,7 l pro Tag feststellen[3]). In dieser Zahl ist allerdings auch

---

[1]) A. Loewy und W. Wechselmann, Virch. Arch. 206 S. 79 (1911).

[2]) A. Loewy, Biochem. Zschr. 67 S. 243 (1914).

[3]) Loewy, Veröffentlichungen der Zentralstelle f. Balneologie III, 1 (1916) und Zschr. f. Balneologie usw. Bd. IX, S. 43 (1916).

die Menge des insensibel abgesonderten Schweißes enthalten. Da jedoch die Bestimmung der von der Haut abgegebenen festen Bestandteile (Chlornatrium und stickstoffhaltige Substanzen) ergab, daß diese gegenüber dem gemäßigten Klima (Berlin) nur bei einer Versuchsperson, und auch bei dieser nur wenig gesteigert waren, so kann demnach auch die Schweißmenge nicht oder nur wenig gesteigert gewesen sein. Macht man einen dementsprechenden Abzug, so kommt man doch noch zu Werten von etwa 1½ l für die physikalische Wasserverdunstung.

Auch der Barometerdruck ist von Einfluß, da mit sinkendem Barometerdruck die Verdunstung erleichtert wird. Allerdings erweisen sich die Barometerschwankungen, die an den einzelnen Orten der Erdoberfläche bei Wechsel der Witterung zur Beobachtung kommen, noch nicht als praktisch wirksam. Wohl aber werden die Folgen der verschieden schnellen Verdunstung bemerkbar bei dem Vergleich von in verschiedenen Höhenlagen gelegenen Orten. Darauf wird im Abschnitt „Höhenklima" eingegangen werden. Endlich hat die Luftbewegung eine fördernde Wirkung auf die Hautwasserabgabe, wie später in diesem Abschnitt (unter 3) gezeigt werden wird. —

Die Verdunstung des sezernierten Schweißes tritt ergänzend erst ein, wenn durch Überwärmung die Schweißdrüsen zur Tätigkeit angeregt worden sind. Versuche von Stern[1]) ergaben, daß das eintritt, wenn die Körpertemperatur i. M. um 0,34° (Maximum um 0,8°, Minimum um 0,1°) gestiegen ist. Während hier die Wärmestauung durch Aufenthalt in warmen Bädern zustandegebracht war, wurde sie in Fredericqs[2]) Versuchen durch Muskelarbeit erzeugt. Dabei ergab sich das gleiche: Schweiß trat ein, wenn die Körpertemperatur um 0,14—0,49° zugenommen hatte.

Die Außentemperaturen, unter denen dieser Anstieg der Körpertemperatur zustande kommt, sind natürlich nach den sonstigen klimatischen Verhältnissen — zumal nach dem Verhalten der übrigen Wärmefaktoren — ganz verschieden, wozu noch die besonders mit der Dicke des Unterhautfettes individuell schwankende Fähigkeit der Wärmeabgabe kommt. Der Einfluß des Fettpolsters geht im Sinne einer Mehrabgabe von Hautwasser in Form von Schweiß. Fett ist ein schlechter Wärmeleiter, zudem ist das subkutane Fettgewebe nur wenig durchblutet. Es ist also die Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung beeinträchtigt und es muß die Wasserverdunstung als wärmeregulierendes Mittel dafür eintreten. Dementsprechend fand Rubner, daß bei 20° C eine magere Person 19% ihres Wärmeverlustes durch Wasserverdampfung deckte, eine fette aber 35%.

Die Schweißmengen, die rein durch klimatische Faktoren, nämlich durch hohe Lufttemperaturen und hohe relative Feuchtigkeit der Luft bei relativer Körperruhe erzeugt werden können, können sehr beträchtlich sein. So fanden Caspari und Schilling[3]) bei noch nicht akklimatisierten Personen im tropischen Küstenklima Hautwasserabgaben bis zu etwa 3 l für 24 Stunden, die vorwiegend auf Schweißabgabe bezogen werden müssen.

Wie die Gesamtheit der Wärmefaktoren auf die Schweißbildung wirkt, wird später erörtert werden.

Die Gesamtwasserabgabe — d. h. zusammengefaßt die von Lungen und Haut — hat ein Minimum bei mittleren Lufttemperaturen, sie nimmt zu sowohl bei Abnahme wie bei Zunahme der Außentemperatur. Dabei spielt die Wasserabgabe

---

[1]) Stern, Zschr. f. klin. Med. 20 S. 63 (1892).
[2]) L. Fredericq, Travails du laboratoir. 6 S. 209 (1901).
[3]) Caspari und Schilling, Zschr. f. Hyg. 91 S. 57 (1920).

von der Haut die Hauptrolle bei hohen Temperaturen, bei mittleren und tiefen tritt die Lunge mehr in den Vordergrund. Die Steigerung bei hohen Temperaturen kommt auf Rechnung mehr abgegebenen Hautwassers, die bei tiefen auf Grund mehr abgegebenen Lungenwassers, da ja die kalt eingeatmete Luft, wenn sie auf 37° erwärmt und mit Wasserdampf gesättigt wird, dem Körper mehr Wasser entzieht als ceteris paribus höher temperierte. Dazu kommt, daß bei niedrigen Temperaturen die Lungenventilation umfänglicher zu sein pflegt als bei höheren.

Einen Maßstab für den Anteil, den die Wasserabgabe des Körpers an seiner Entwärmung nimmt, sieht Rubner[1]) in dem sog. Entwärmungsquotienten; er gibt an, in welchem Verhältnis die abgegebene Wassermenge zur gebildeten Kohlensäure steht. Der Quotient: Wasserausscheidung: Kohlensäurebildung betrug bei 2° 1,24, bei 15—20° 0,79, bei 35—40° 5,3.

Unter den gewöhnlichen Verhältnissen des gemäßigten Klimas tritt die Wärmeabgabe durch Wasserverdunstung zurück hinter durch Leitung und Strahlung erfolgende.

Direkt ist dieser Anteil selten bestimmt worden. In einem Versuche Rubners[2]), in dem gesondert Leitung, Strahlung, Verdunstung festgestellt wurden, ergab sich, daß letztere 499 Cal gleichkam, die Wärmestrahlung stellte sich auf 1181 Cal, die durch Leitung berechnete sich auf 833 Cal. Leitung und Strahlung zusammen ergeben also 2014 Cal. Die Gesamtwärmeabgabe setzte Rubner zu 2700 Cal, wonach auf Leitung und Strahlung 74%, auf Wasserverdunstung nur 18,4% entfielen.

In diesem Versuch betrug die Lufttemperatur 17,5°.

Die Wärmeabgabe durch Strahlung ist auch von Masje[3]) untersucht worden. Er findet, daß im Gegensatz zu dem erwarteten Ergebnis die Wärmeausstrahlung von sonst bekleideten, für den Versuch freigemachten Körperteilen dauernd zunimmt, um so mehr, je tiefer die Umgebungstemperatur liegt. Die Zunahme erfolgt, bis die Haut sich um etwa 3° abgekühlt hat; dann nimmt die Strahlung ab. Unbedeckt getragene Körperteile strahlen dagegen eine gleichbleibende Wärmemenge aus.

Masje berechnet, daß unter seinen Versuchsbedingungen ein ruhender Mann mit 2 qm Körperoberfläche in 24 Stunden 1728 Cal durch Strahlung abgibt. — Auf viel geringere Werte (820 Cal) kommt Stewart. Für ihn ist im wesentlichen die Temperaturdifferenz zwischen Haut und Umgebung für die Größe der Ausstrahlung maßgebend.

In den meisten Fällen ist nur die Wasserverdunstung ermittelt worden und aus ihr muß der Umfang von Leitung und Strahlung aus der Differenz gegenüber der Gesamtwärmeabgabe errechnet werden.

Es ist klar, daß mit der Änderung der klimatischen Verhältnisse auch das Verhältnis der Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung einerseits, durch Verdunstung andererseits sich ändern muß.

Bei niedrigen Temperaturen erfolgt die Wärmeabgabe wesentlich durch Leitung und Strahlung, mit steigender Temperatur nehmen beide Werte ab; dafür beginnt die Wasserverdampfung, die, wie erwähnt, ihr Minimum bei mittleren Temperaturen hat, zuzunehmen, bis sie bei sehr hohen Außentemperaturen den größten Teil der Entwärmung auf sich nimmt. Ja, wenn die Lufttemperaturen höher liegen als die des Körpers, ist die Wärmeabgabe durch Verdunstung größer als die Wärmeerzeugung. Nach Rubner[4]) ist in diesem Falle die Körpertemperatur gestiegen und die gesteigerte Wasserabscheidung ist erforderlich, um diese Erwärmung des Körpers zu beseitigen.

[1]) Rubner, Arch. f. Hyg. 38 S. 129 (1901).
[2]) Rubner, Arch. f. Hyg. 27 S. 69 (1896).
[3]) Masje, Virch. Arch. Bd. 107 S. 17 und 267 (1877).
[4]) Rubner, Arch. f. Hyg. 38 S. 131 (1900).

In einer Versuchsreihe Wolperts[1]) wurde für Temperaturen von 2° und von 10—40° die Verteilung der Wärmeabgabe zahlenmäßig verfolgt, wobei die Luftfeuchtigkeit mit Ausnahme der höchsten Temperaturen gleichgehalten wurde.

Es fand sich, daß gedeckt wurden

bei 15—20°:
durch Leitung u. Strahlung 83,3%, durch Wasserverdampfung 16,7% der Gesamtentwärmung;
bei 25—30°:
durch Leitung u. Strahlung 69,4%, durch Wasserverdampfung 30,6% der Gesamtentwärmung;
bei 35—40°:
durch Leitung u. Strahlung — %, durch Wasserverdampfung 112,0% der Gesamtentwärmung.

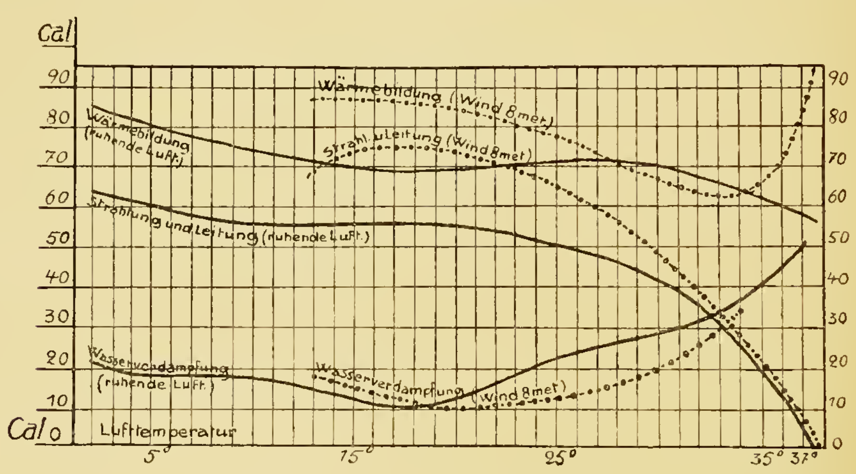


Abb. 1. Einfluß der Temperatur und der Luftbewegung auf das Verhalten von Wärmebildung und Wärmeabgabe. (Verändert nach Rubner.)

Die vorstehende Abbildung (verändert nach Rubner) gibt diese Verhältnisse graphisch wieder, und zwar in absoluten Werten, in Kalorien. Die drei ausgezogenen Linien geben die Verhältnisse bei ruhender Luft wieder u. zw. die oberste die Wärmebildung in Kalorien, die mittlere die Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung. die unterste die durch Wasserverdampfung.

Die bisher mitgeteilten Ergebnisse bezogen sich auf den leicht bekleideten bzw. nackten Körper. Die Wirkungen der Lufttemperatur auf den Körper ändern sich aber mit der Art der Bekleidung, und das um so mehr, je dicker die Kleidung gewählt wird. Die Bekleidung macht mehr oder weniger unabhängig von den klimatischen Faktoren und kann deren Wirkung zum Teil aufheben. Das geschieht dadurch, daß der unmittelbare Kontakt der Haut mit der Atmosphäre aufgehoben ist, und damit das Temperaturgefühl sowohl wie auch die Verhältnisse der gesamten Wärmeabgabe eine Änderung erfahren. Maßgebend für die Wärmeregelung wird beim bekleideten Menschen wesentlich die Beschaffenheit der die Haut unmittelbar berührenden. zwischen Haut und Kleidern bzw. innerhalb der Kleidungsstücke befindlichen Luftschichten, das sog. Privatklima des Menschen.

Im einzelnen ist die Wirkung der Bekleidung nach dem Wärmegrade der Atmosphäre verschieden, wobei zugleich deren Feuchtigkeit, Bewegung und auch Strahlungsverhältnisse eine Rolle spielen.

Bei niedrigen Außentemperaturen gibt die Kleidung einen Kälteschutz ab

[1]) H. Wolpert, Arch. f. Hyg. 33 S. 206 (1800).

und führt zunächst da, wo zu leichte Bekleidung oder Nacktheit zu Frostschauern oder Muskelspannungen führten und damit zu einer Steigerung der Umsatzprozesse, zu einer Einschränkung der Wärmebildung und Zurückführung auf die Höhe des Erhaltungsumsatzes. Aber auch die Art der Wärmeabgabe wird geändert. So nimmt bei einem Aufenthalt in Temperaturen von 11—12° die Menge des verdampften Wassers mit Anlegung dickerer Kleidung zunächst ab, wohl weil die Atemgröße eingeschränkt wird. Das trat ein, wenn z. B. über die Sommerkleidung ein Winterüberzieher gezogen wurde. Sie steigt aber mehr oder minder erheblich an, wenn die Temperatur der den Körper deckenden Luftschichten weiter — z. B. durch Überziehen eines Pelzes — erhöht wurde.

Die Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung wird bei niedrigen Außentemperaturen vermindert, wenn die angelegte Kleidung trocken ist. Enthält sie reichlich Wasserdampf oder ist sie feucht, so werden die Wärmeverluste gesteigert. Die durch Verdampfung werden zwar vermindert; da aber in der Kälte die Wasserverdampfung an Bedeutung hinter Leitung und Strahlung zurücksteht, so kann der Gesamtwärmeverlust in feuchter Kleidung gesteigert sein, nicht zum Vorteil der betroffenen Personen.

Bei hohen Außentemperaturen (etwa 25°) bewirkt die Bekleidung eine zunehmend steigende Wasserabgabe, weil es durch sie früher zur Überwärmung der Haut und auch zu Wärmestauung kommt. Die Steigerung der Wasserabgabe muß in diesem Falle auf beginnende Schweißbildung bezogen werden, da sie bei schweißdrüsenlosen Menschen nicht zur Beobachtung kommt[1]).

Sommerkleidung kann etwa 5° Temperaturzunahme der Luft ersetzen, d. h. einen Effekt haben, den beim Nackten eine Temperatursteigerung der Luft um 5° auslöst.

Aber die vermehrte Wasserabgabe ist nicht gleichbedeutend mit vermehrter Wasserverdampfung. Diese geht vielmehr von unbekleideten Stellen intensiver vor sich, weil durch die Kleidung die Luftbewegung am Körper beschränkt wird, und die den Körper umgebenden Luftschichten mit Wasserdampf bis zur Sättigung beladen werden. Die Wärmeregulierung wird sonach bei hohen Außentemperaturen durch die Kleidung verschlechtert. —

Bisher wurde ausschließlich der Einfluß wechselnder Temperaturen auf den ruhenden Menschen betrachtet. Die Verhältnisse der Wärmeökonomie werden jedoch auch bei Körperarbeit, und zwar anders als bei Körperruhe, von der Temperatur der Umgebung beeinflußt.

Bei der Muskelarbeit entsteht immer zugleich Wärme, und zwar in so großem Umfange, daß im Mittel nur ca. 30% der umgesetzten Energie der Arbeitsleistung zugute kommen, ca. 70% aber in Wärme verwandelt werden. Diese Wärmesumme addiert sich also zu der schon bei Körperruhe erzeugten und muß durch die wärmeregulatorischen Maßnahmen fortgeschafft werden.

Änderungen der Außentemperatur, besonders auch ein Steigen der Luftwärme haben keinen Einfluß auf die Umsetzungsprozesse des Arbeitenden. Geht die Arbeit bei niedrigen Temperaturen vor sich, so kann bei denjenigen Tieren, bei denen eine chemische Wärmeregulation in der Kälte besteht, die bei der Arbeit freiwerdende Wärme für die durch die chemische Wärmeregulation gelieferte eintreten, die der Wärmeregelung dienenden chemischen Prozesse werden also eingeschränkt bzw. aufgehoben.

---

[1]) Loewy und Wechselmann, Virch. Arch. 206 S. 82 (1911).

Im übrigen aber erfolgt die Wärmeregelung des Arbeitenden nur mittels der sog. physikalischen Regelungsvorgänge. Die Arbeit führt zu einer mehr oder weniger gewaltigen Steigerung des Blutumlaufes, zu einer stärkeren Durchblutung der Organe. Auch die Haut wird reichlicher durchblutet, damit wärmer und feuchter, so daß bei niedrigen Temperaturen die Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung gesteigert wird. Dazu tritt — schon in der Kälte — eine Steigerung der Wasserabgabe, die ihre Ursache in der erhöhten Atmungstätigkeit bei Arbeit hat. Kann durch diese doch die Lungenventilation von 5—6 l bei Körperruhe auf 60—80 l bei Arbeit steigen. Bei höheren Temperaturen kommt es dann zu einer stark vermehrten Wasserabgabe auch von der Haut.

Ein Versuch Wolperts[1]) mag diese Wirkung veranschaulichen.

Tabelle 5.

Außentemperatur C°	Wasserabgabe in Gramm bei Ruhe	mittlerer Arbeit 5000 kg/m pro Stde.	schwerer Arbeit 15000 kg/m pro Stde
15	50	55	55
20	60	60	70
25	65	105	150
30	100	145	220
35	160	170	—

Bei 15°, auch noch annähernd bei 20°, ging in diesem Falle die Arbeit ohne wesentliche Steigerung der Wasserabgabe vor sich, die erst von 25° ab erheblich wird. Bei intensiver Arbeit in wenig luftdurchlässiger Kleidung kann auch schon bei Temperaturen zwischen 9—20° die Wasserverdampfung beträchtlich werden.

In Versuchen an marschierenden Soldaten fanden Zuntz und Schumburg[2]) in fünfstündigen Märschen mit 31 kg Gepäck Wasserabgaben zwischen 1026 und 2845 ccm bei der einen, zwischen 820 und 2057 ccm bei einer zweiten Person. Davon entfielen auf die Haut 820—2624 ccm bei der ersten, 584—1786 bei der zweiten. Durch die Maximalmengen wurden 95% der gesamten Wärmeabgabe bestritten.

Bei niedrigen Temperaturen wirkt die Arbeit günstig auf das Befinden, indem sie durch Steigerung der Hautwärme das Kältegefühl bannt, bei hohen wirkt sie ungünstig dadurch, daß sie leicht zur Überwärmung führt, indem trotz der gesteigerten Wasserabgabe die Wärmeregulation unvollkommen bleibt.

Natürlich sind für die Grenze, an der die gesteigerte Wasserabgabe einsetzt, und für ihren Umfang neben der Temperatur auch die Luftfeuchtigkeit und die Luftbewegung von Einfluß, worauf im folgenden zurückzukommen ist.

Bemerkenswert vom klimatophysiologischen Gesichtspunkte, wie auch klimatotherapeutisch bedeutungsvoll sind Befunde, die, zuerst von Nasaroff[3]) gemacht, in ausgedehntem Maße dann von Durig und Lode[4]) weiterverfolgt wurden, aus denen hervorgeht, daß der tierische Organismus befähigt ist, bei wiederholter Einwirkung niedriger Temperaturen seine Wärmeregelungseinrichtungen zu verstärken, derart, daß der Wärmeentziehung immer besser Widerstand geleistet wird.

---

[1]) Wolpert, Arch. f. Hyg. 36 S. 203.

[2]) Zuntz und Schumburg, Studien zu einer Physiologie des Marsches. Berlin 1901.

[3]) Nasaroff, Virch. Arch. 90 S. 487 (1882).

[4]) Durig und Lode, Arch. f. Hyg. 39 S. 46 (1901).

An Hunden, die sie je 10 Minuten in kalten Bädern hielten, fanden Durig und Lode folgendes:

Tabelle 6.

Tag	Temperatur des Wassers C°	Temperatur des Tieres vor dem Bade C°	Temperatur des Tieres nach dem Bade C°	Differenz der Körpertemperatur C°	CO_2-Abgabe g
1	14,3	38,8	37,3	1,5	6,87
2	12,2	38,8	35,4	3,4	9,06
3	10,7	38,7	37,1	1,6	—
4	—	38,6	38,1	0,5	9,36
5	10,2	38,7	38,1	0,6	9,73
6	10,5	38,6	38,3	0,3	8,32
7	10,5	38,7	38,3	0,4	8,56
8	11,0	38,6	38,2	0,4	8,63

Die Körpertemperatur wurde in den ersten Bädern weit stärker herabgesetzt als in den späteren. Die bessere Wärmeregulierung steht mit dem Stoffumsatz (Kohlensäurebildung) in keiner Beziehung, sie muß daher mit Änderungen des Wärmeverlustes in Zusammenhang stehen. Und da beim Aufenthalt im Bade die Wasserverdampfung keine Rolle spielen kann, kann es sich nur um Änderungen, d. h. durch Gewöhnung bewirkte Abnahmen der Wärmeleitung handeln, die auf kräftigerer Tätigkeit der Hautgefäßmuskulatur beruhen.

Das ist ein vollgültiger Beweis für die Übung der Gefäßmuskulatur durch wiederholte Kältereize.

b) Die Luftfeuchtigkeit in ihrer Beziehung zur Wärmeökonomie.

Des Einflusses der Luftfeuchtigkeit werden wir uns bewußt, wenn sie mit sehr hohen oder sehr niedrigen Temperaturen vereinigt ist. Im ersteren Falle beruht ihre Wirkung auf der Beeinflussung der Wasserverdampfung vom Körper, im zweiten auf der der Wärmeleitung und Strahlung.

Im rein klimatischen Sinne wird der Gehalt der Atmosphäre an Wasserdampf nach verschiedenen Gesichtspunkten betrachtet. Darüber gibt der Artikel von Alt im ersten Bande dieses Handbuches Auskunft. Vom klimatophysiologischen Standpunkte ist jedoch wesentlich nur die sog. „relative Feuchtigkeit" der Luft, d. h. das Verhältnis, in dem die vorhandene Wasserdampfmenge zu der im Höchstfalle aufnehmbaren steht, ausgedrückt in Prozenten der letzteren, in Betracht gezogen worden. Sie ist es, von der die Wirkungen der Luftfeuchtigkeit abhängen nicht nur für unser Gefühl von Trockenheit oder Feuchtigkeit der Luft, sondern die relative Feuchtigkeit steht auch in Beziehung zu den objektiven Veränderungen der physiologischen Vorgänge, die mit Schwankungen der Luftfeuchtigkeit zusammenhängen.

Neuerdings beginnt man die Luftfeuchtigkeit zur Körpertemperatur des Menschen in Beziehung zu setzen und bezeichnet als „physiologische Feuchtigkeit" den Feuchtigkeitsgehalt der Luft bezogen auf 37°. Die relative physiologische Feuchtigkeit wäre danach das Verhältnis von vorhandener zu bei 37° aufnehmbarer Wassermenge der Luft.

Neben der relativen Feuchtigkeit käme noch das sog. Sättigungsdefizit in Betracht, das ist die Differenz zwischen dem vorhandenen Wasserdampfdruck der Atmosphäre und dem maximalen Dampfdruck bei der herrschenden Temperatur, oder zwischen der vorhandenen Wassermenge in Gramm pro cm Luft zur möglichen. Sie wurde von Flügge[1]), Deneke[2]),

[1]) Flügge, Lehrb. d. hygien. Untersuchungsmethoden. Leipzig 1881.

[2]) Deneke, Zschr. f. Hyg. Bd. 1.

Meyer[1]) zur Beurteilung des Zusammenhanges zwischen Luftfeuchtigkeit und physiologischen Vorgängen empfohlen. Neuerdings[2]) hat Dorno besonders auf die Bedeutung des Sättigungsdefizites hingewiesen und betont, daß seine Kenntnis wichtiger für physiologische Vorgänge sei als die der relativen Feuchtigkeit, da ihm die Verdunstungsgröße, die „Evaporationskraft", eher parallel gehe als letzterer, jedenfalls der Umfang der Wasserverdampfung von seiten der Lungen vom Sättigungsdefizit abhänge. Entsprechend der physiologischen Feuchtigkeit kann man auch ein „physiologisches Sättigungsdefizit" annehmen. Jedoch sind alle physiologischen Untersuchungen bisher auf die relative Feuchtigkeit der Luft bezogen worden.

Man kann auch, und das ist von Rubner vorgeschlagen worden, anstatt der relativen Feuchtigkeit, deren reziproken Wert, die relative Trockenheit zur Grundlage der Betrachtungen machen.

Die Wirkungen wechselnden Wasserdampfgehaltes der Luft auf den tierischen und menschlichen Organismus sind genauer von Rubner und seiner Schule untersucht worden.

In allen Fällen hat sich eine Beeinflussung der Wasserabgabe ergeben. derart, daß mit zunehmender relativer Feuchtigkeit der Luft die Wasserabgabe sich vermindert. Das ist verständlich und ohne weiteres vorauszusehen für die Wasserabgabe von den Lungen. Denn da in diesen die Einatmungsluft mit Wasser gesättigt wird, braucht ceteris paribus um so weniger Wasser abgegeben zu werden, je mehr die inspirierte Luft schon enthält.

Aber auch die Wasserabgabe von der Haut ist um so reichlicher, je trockener die Luft ist. Das ergibt sich für den Menschen aus Versuchen von Rubner und Lewaschew[3]). Die folgende Tabelle zeigt, wie bei gleichen Temperaturen, und zwar von mittleren bis zu hohen, die Wasserabgabe durch die Feuchtigkeit der Luft zurückgedrängt wird.

Tabelle 6a.

Lufttemperatur C°	Relative Feuchtigkeit %	Wasserabgabe g	Relative Feuchtigkeit %	Wasserabgabe g
15,0	8	36	89	9
20,4	5	54	82	15
23,0	7	73	84	19
25,4	6	75	81	24
28,9	6	105	—	—

Die Beschränkung der Wasserabgabe in feuchter Luft hat besondere Bedeutung bei hohen Temperaturen. In diesen erfolgt ja die Wärmeregelung im wesentlichen durch Wasserverdampfung, und ihre Einschränkung führt leicht zu Wärmestauung mit ihren Folgen. In trockener Luft von 28,9° war der Aufenthalt noch gut möglich. in der feuchten stellten sich schon bei 25° Beschwerden ein. Hierauf wird noch in Abschnitt D, 1 eingegangen werden.

Im vorstehenden Beispiel sind die Feuchtigkeitsdifferenzen sehr erheblich; ihre Wirkungen auf die Wasserabgabe treten bei hohen Außentemperaturen (29—30°) nicht deutlich hervor, wenn die relative Feuchtigkeit nur zwischen 13 und etwa 65% schwankt. —

Die mit der zunehmenden Luftfeuchtigkeit geringer werdende Wärmeabgabe

---

[1]) H. Meyer, Deutsche meteorol. Zschr. Bd. II 1885, Bd. IV 1887.

[2]) H. Dorno, Klimatologie im Dienste der Medizin. Braunschweig 1920.

[3]) Rubner, Arch. f. Hyg. 11 S. 193 (1890) und Rubner-Lewaschew, ebenda 29 S. 1 (1897).

durch Verdunstung findet nun ein Gegengewicht dadurch, daß umgekehrt die Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung sich erhöht[1].

Beide Wirkungen stehen miteinander in Beziehung, denn durch die Beschränkung der Wasserverdunstung wird die Haut weniger abgekühlt, die Hautwärme bleibt hoch und dadurch kommt es zu einer besseren Durchblutung, die ihrerseits zu der vermehrten Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung Anlaß gibt.

Das hat nun bei zunehmenden Lufttemperaturen eine Grenze. Wird diese überschritten, so genügt die durch die zunehmende Feuchtigkeit verursachte Mehrabgabe von Wärme durch Leitung und Strahlung, die, wie im voraufgehenden Abschnitt ausgeführt wurde, mit steigender Temperatur sich stetig vermindert, nicht mehr, um das Minus, das durch die Einschränkung der Wasserabgabe in feuchter Luft zustande kommt, auszugleichen, die Körpertemperatur steigt, und nun kommt es auch in feuchter Luft zu stärkerem Schweißausbruch und damit zu gesteigerter Wasserabgabe.

In ruhender Luft mit 22% relativer Feuchtigkeit, d. h. also in trockener Luft, tritt Schweiß erst bei gegen 30° C auf, in feuchter mit ca. 60% relativer Feuchtigkeit, schon bei 25—26°

Das gleiche gilt wie für Körperruhe so auch für Körperarbeit. Die Schweißproduktion setzt bei Körperarbeit in feuchter Luft früher ein als in trockener. Das ist eine allgemeine Erfahrung, ebenso wie die, daß in feuchter Luft, selbst wenn sie weniger warm ist, die Arbeit eher zu Ermattung führt als in trockener. Wolpert fand eine Arbeit bei 25° C und 50% relativer Feuchtigkeit weniger erschöpfend als solche bei 17°, aber 87% relativer Feuchtigkeit. In sehr feuchter Luft über 20° ist körperliche Arbeit nicht lange durchführbar.

Die Grenze, bei der in feuchter Luft die Einschränkung der Wasserabgabe abgelöst wird durch intensive Schweißbildung, ist aber nicht allein von den physikalischen Faktoren des Klimas abhängig, sie wird mitbestimmt von der körperlichen Beschaffenheit, der Konstitution des betroffenen Individuums, also von einem Komplex physiologischer Faktoren.

Von Bedeutung sind die Dicke der Haut, der Grad ihrer Trockenheit, ihre Durchblutung. Das wesentlichste Moment ist aber ein mehr oder weniger ausgebildetes Fettpolster. Die folgenden — Versuchen Rubners entnommenen — Zahlen zeigen, daß ein fetter Mensch zwar bei niedrigen Temperaturen ebenso wie ein magerer in feuchter Luft seine Wasserabgabe einschränkt, aber mit steigender Temperatur tritt viel eher der Zeitpunkt ein, wo die Wasserabgabe durch starken Schweiß wieder, und zwar energisch, emporgeht.

Bei den Mageren bestand auch noch bei 30° die verminderte Wasserverdampfung in der zu 60—70% gesättigten Luft. Wärmeleitung und -strahlung genügten also

Tabelle 7.

Temperatur	Magerer Wasserdampfabgabe pro Stunde in Gramm bei relativer Feuchtigkeit		Temperatur	Fetter Wasserdampfabgabe pro Stunde in Gramm Luft	
C°	20—30%	60—70%	C°	trocken	feucht
20	60	25	20—22	56	27
30	100	65	28—30	134	170 (außerdem 31 g Schweiß)

[1] Rubner, Arch. f. Hyg. 11 S. 255 (1890).

noch zur Entwärmung; bei dem Fetten war das bei 28—30° nicht mehr der Fall. Seine Wärmeabgabe konnte zwar bei 20—22° noch durch gesteigerte Leitung und Strahlung bei verringerter Wasserabgabe reguliert werden, aber bei 30° war dies unmöglich; die Wasserabgabe stieg wieder beträchtlich an.

Bei reichlichem Fettpolster scheinen 25° C die obere Grenze zu sein, bei der die Wasserabgabe bei hoher Luftfeuchtigkeit nicht mehr eingeschränkt werden kann, es vielmehr zu Schweißausbruch kommt[1]).

Die Luftfeuchtigkeit wirkt verändernd nur auf die Einrichtungen der Wärmeabgabe; die Wärmebildungsvorgänge werden durch sie nicht beeinflußt.

Wie für die Außentemperatur schon angegeben (S. 18), wird auch die Wirkung der Luftfeuchtigkeit auf unseren Körper wesentlich durch unsere Kleidung verändert. Gewöhnlich werden nur 20% des Körpers unbedeckt getragen, 80% sind bekleidet.

Der Einfluß der Bekleidung ist natürlich, je nach dem Material, aus dem sie verfertigt ist, nach ihrer Dicke und Webart, ganz verschieden[2]). Da aber jeder Art Bekleidung der durch sie herbeigeführte Wärmeschutz gemeinsam ist, wird die Hauttemperatur durch sie höher gehalten als an den freien Hautstellen. Daher muß auch die Feuchtigkeit der Luft gegenüber den bekleideten Hautstellen anders wirken als auf die unbedeckten. Bei niedrigen und mittleren Lufttemperaturen ist die die Haut umgebende Luftschicht und auch die Kleiderluft wärmer als die Atmosphäre. Die in die Kleidung und an die Haut tretende atmosphärische Luft wird also erwärmt werden und dadurch relativ trocken werden, um so mehr, je niedriger temperiert sie ist. Die Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung wird also herabgesetzt. Das ist hygienisch bedeutungsvoll. Denn gerade bei niedrigen Temperaturen wird feuchte Luft unangenehm empfunden, da sie zu übermäßiger Wärmeableitung und zu Kältegefühl führt. Nur sehr trockene Luft wird unter der Bekleidung feuchter werden können, indem der von der Haut abgegebene an der freien Verdunstung gehinderte Wasserdampf die zwischen Haut und Kleidern vorhandene Luftmasse stärker mit Wasser sättigt.

Bei hohen Außentemperaturen kommt die vorteilhafte Wirkung der Bekleidung gegenüber feuchter Luft wenig oder gar nicht mehr zur Geltung. Auch hier wirkt sie der Wärmeabgabe entgegen, aber dadurch, daß sie die Verdunstung beeinträchtigt. Das führt dann leicht zu Überwärmung und stärkerer Schweißbildung, deren wärmeentziehender Effekt aber auch wieder geringer ist als an der unbekleideten Haut. Die Kleidung wirkt in diesem Falle also ungünstig. —

Die wechselnde Feuchtigkeit der Luft hat noch eine sekundäre Wirkung auf den Umfang der Harnabsonderung. Sehr trockene und dabei warme Luft steigert die Wasserabgabe durch Haut und Lungen und führt dadurch zu einer Beschränkung der Harnabgabe. Das tritt besonders im Wüstenklima in Erscheinung, wo die tägliche Harnmenge bis 400—500 ccm hinabgehen kann. Näheres darüber findet sich im Kapitel „Wüstenklima". Umgekehrt kommt es bei dauerndem Aufenthalt in feuchter Luft zu Steigerung der Harnmenge. Das ist an der Meeresküste von Glax und von Loewy und Müller beobachtet worden (vgl. Seeklima).

Hingewiesen sei zum Schluß auf eine lokale Wirkung, die die feuchte bzw. trockene Luft auf die Haut ausübt. Dauernd feuchte und besonders feuchtwarme Luft führt zu einer Erweichung der Epidermis und in weiterer Folge zum Auftreten

[1]) Vgl. O. Moog, Arch. f. klin. Med. 138 S. 181 (1922).

[2]) Näheres bei Rubner, Arch. f. Hyg. 29 S. 269; 31 S. 142; 32 S. 1.

von Dermatitiden, wie sie häufig im Tropenklima gesehen werden; trockene und dazu niedrig temperierte Luft macht die Haut und die sichtbaren Schleimhäute spröde und rissig. Das ist besonders vom Aufenthalt auf den südamerikanischen Anden beschrieben worden.

c) Die Luftbewegungen.

Wie Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit sind auch die Luftbewegungen wesentliche Klimaelemente, besonders da, wo sie in regelmäßiger Folge und Stärke auftreten. Daneben sind sie meist von bestimmendem Einfluß auf die Witterung, wobei in letzterem Falle vorwiegend die Windrichtung von Bedeutung ist.

Die Entstehung der Winde und ihre allgemeine klimatologische Bedeutung ist bereits von Alt im ersten Bande dieses Werkes (S. 473 ff.) besprochen worden. Stärke, Häufigkeit, Richtung der Winde geben dem Klima eines Landes bzw. Landstriches, oft sogar einzelner Ortschaften einen bestimmten Charakter, der je nach den Umständen hygienisch günstig oder ungünstig sein kann. Beispiele hiervon hat Hann[1]) zusammengestellt. Hier sei nur auf die Wichtigkeit der Winde für die Luft in engen Tälern hingewiesen, die durch sie durchmischt und erneuert wird.

Je nach seiner Stärke übt der Wind schon rein mechanische Wirkungen aus nicht nur auf den Menschen, sondern auch auf die Tier- und Pflanzenwelt — auf letztere so energisch, daß an windausgesetzten Stellen der Pflanzenwuchs vollkommen unterdrückt werden kann. Damit dürfte die Baumarmut der Nordseeküste, sowie die in den arktischen Gegenden zusammenhängen, vielleicht ist auch die Lage der Baumgrenze im Gebirge mit durch die heftigen Gebirgswinde beeinflußt[2]). Der Wind wirkt also auch durch Änderung der Landschaft verändernd auf das Klima.

Die Richtung der Winde ist maßgebend für ihre Beschaffenheit, d. h. für ihre Temperatur und Feuchtigkeit, und hat somit wiederum Einfluß auf die gesamte belebte Welt. In unseren Breiten bringen Nordwinde Kälte, Südwinde Wärme. Ostwinde bringen trockenes und dabei zugleich im Sommer warmes, im Winter kaltes Wetter; Westwinde feuchtes, und zugleich im Sommer Abkühlung, im Winter Erwärmung. So vermag also die mit der Richtung wechselnde Beschaffenheit der Winde die thermische Wirkung der Atmosphäre zu verändern.

Aber auch die Luftbewegung an sich übt thermische Wirkungen aus, und vermag die von Temperatur und Feuchtigkeit der Luft ausgehenden wesentlich zu modifizieren.

Die freie Atmosphäre ist nie ganz unbewegt; auch wenn wir von Windstille sprechen, besteht eine schwache Luftbewegung, die von uns subjektiv allerdings nicht wahrgenommen wird. Dabei kann die Windgeschwindigkeit bis auf 0,5 m pro Sekunde steigen. Eine solche bis zu 8—10 m wird als schwacher Wind wahrgenommen. Er reicht aus, um Baumblätter und dünnere Zweige zu bewegen. Eine Geschwindigkeit von etwa 15 m pro Sekunde ruft starken Wind hervor, der stärkere Äste bewegt und Staub aufwirbelt.

Schon die einfache persönliche Beobachtung lehrt, daß Wind unser Wärmegefühl beeinflußt: Bei niedrigen Außentemperaturen ruft er stärkeres Kältegefühl hervor, als es bei Luftruhe besteht, bei hohen Temperaturen bringt er Kühlung.

Wie die Wärmeregulierungsvorgänge des Menschen im einzelnen durch Luftbewegung geändert werden, hat in mehrfachen Untersuchungen Wolpert[3])

---

[1]) Hann, Handbuch d. Klimatologie Bd. I.

[2]) Literatur bei Hann a. a. O. S. 72.

[3]) H. Wolpert, Arch. f. Hyg. Bd. 33 (1898); 31 (1896); 43 S. 21 (1902).

ermittelt. Er setzte die leicht bekleidete Versuchsperson im Respirationskasten für 4—6 Stunden Windgeschwindigkeiten von 1 m, 8 m, 16 m aus. Die Lufttemperaturen wechselten dabei zwischen 12—13° und 40°, die relative Feuchtigkeit wurde auf etwa 40% gehalten.

Unter 12—13° konnte bei 8 m Wind — bei dieser Windstärke sind die meisten Versuche ausgeführt — nicht hinuntergegangen werden des starken Kältegefühls wegen, das dann einsetzte. Aber auch bei den niedrigsten untersuchten Temperaturen (13—15°) ergab sich schon eine starke Erhöhung der Wärmebildung, gemessen an der Kohlensäureausscheidung. Mit steigender Luftwärme nehmen die Umsatzprozesse dann ab bis zu etwa 32° C, um dann wieder anzusteigen. Diese Wirkung ist graphisch auf Abb. 1 (S. 18) wiedergegeben, wo die punktierten Linien die Wirkung des Windes zeigen.

Vergleicht man die Umsatzgrößen mit der bei Windstille, so sieht man, daß sie bis zu 20° hinauf diese erheblich übertreffen, von 20—26° nähern sie sich den bei Windstille, zwischen 26 und 30° liegen sie annähernd auf gleicher Höhe, bei 30—35° liegen sie zunächst etwas tiefer, um dann wieder anzusteigen.

Die Wärmeabgabevorgänge sind gleichfalls gegenüber den bei Windstille geändert. Zunächst die Wasserverdampfung. Sie liegt, wie aus der Abbildung hervorgeht, bei den niedrigsten Temperaturen (13—17°) ein wenig (um etwa 5—10%) über den bei Windstille, nimmt aber allmählich ab, um von 17 bis zu 25° nahezu gleich zu bleiben. Von 25° an nimmt die Wasserverdunstung bis zu 30° wenig, dann stärker wieder zu.

Aber bemerkenswert ist, daß über den ganzen Temperaturbereich von 17 bis zu 32° hin die Wasserdampfabgabe bei 8 m Wind hinter der bei Windstille zurückbleibt. Zwischen 25 und 30° beträgt sie nur die Hälfte, zum Teil nur ein Drittel der bei Windstille abgegebenen Wassermenge. Bei etwa 34° werden beide Werte annähernd gleich. Bei noch höheren Temperaturen nimmt die Wasserabgabe bei Wind weiter zu, und nun in stärkerem Maße als bei Windstille, so daß sie dann letzteren Wert um das Doppelte und mehr übertreffen kann.

Umgekehrt verläuft die Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung. Nach einer mäßigen Zunahme zwischen 13 und etwa 18° sinkt sie ununterbrochen bis zu den höchsten untersuchten Temperaturen. Wesentlich ist dabei aber, daß sie bei allen Lufttemperaturen, bei den niedrigeren mehr, bei den höheren weniger, die bei Windstille übertrifft, um erst bei etwa 34° den letzteren Werten gleich zu werden.

Unter den Bedingungen von Wolperts Versuchen war also die Temperatur von 34° diejenige, bei der die Wärmebildung und die Art und der Umfang der Wärmeabgabe mit der bei Windstille übereinstimmten, die Wirkung des Windes also aufgehoben war. Die Versuchsperson befand sich demnach mit Bezug auf ihre wärmeregelnden Vorgänge wie in ruhender Luft.

Über dieser Temperatur wirkt der heiße Wind intensiv wasserentziehend, aber in dem ganzen Bereich unter 34°, d. h. also in den praktisch für die meisten Klimate allein in Betracht kommenden Grenzen äußert der Wind sich in einer Herabsetzung der Verdunstungsgröße und in einer Steigerung der Wärmeleitung. Als die primäre Wirkung muß die Steigerung der Wärmeleitung angesehen werden, hervorgerufen durch die Berührung der Haut mit immer neuen Luftteilchen. An die dadurch zustande kommende stärkere Abkühlung der Haut geknüpft ist die Einschränkung der Wasserverdunstung.

Windstärken von 1 m oder 16 m in der Sekunde zeigten in Wolperts Versuchen

eine in der Art gleiche Wirkung, jedoch war sie in ihrem Umfange nicht der Windstärke proportional, indem ein Wind von 16 m Sekundengeschwindigkeit weniger als doppelt so intensiv wirkte wie ein Wind von 8 m.

Es ist selbstverständlich, daß auf das Zustandekommen der Windwirkung die Art der Bekleidung von wesentlichem Einfluß ist, insbesondere ihre Luftdurchgängigkeit. Ist diese genügend, um der bewegten Luft den Zutritt zur Haut zu gestatten, so wirkt der Wind annähernd wie auf den Unbekleideten. Durch häufige Wiederholung des durch Wind ausgeübten Reizes kann es zu einer gesteigerten Widerstandskraft der Haut kommen, also zu einer Abhärtung.

Über die einzelnen Klimaten eigentümlichen Winde (Föhn, Bora usw.) ist von Alt in Bd. I dieses Werkes berichtet worden. Ihre physiologische Bedeutung wird in den betreffenden Sonderkapiteln besprochen werden.

d) Die Strahlung.

Nicht weniger als die bisher besprochenen Faktoren gehören auch die Strahlungsverhältnisse zur Gruppe der sog. Wärmefaktoren. Sie haben sowohl rein klimatisch eine erhebliche Bedeutung, indem sie je nach Intensität und Dauer den Charakter eines Klimas mitbestimmen, wie sie auch direkte physiologische Wirkungen auf die Lebewesen ausüben.

Nach der klimatischen Seite sind die Strahlungsverhältnisse der Atmosphäre im ersten Bande dieses Werkes von Dorno[1]) erschöpfend und nach dem neuesten Stande unseres Wissens behandelt worden.

Hier sei wiederholt, daß praktisch nur die Sonnenstrahlung in Betracht kommt. Sie enthält Strahlen sehr verschiedener Wellenlänge, von 18 μ bis 0,29 μ. Diese Strahlen sind wesensgleich: transversale Ätherschwingungen; aber ihre Wirkungen sind verschieden. Dies gilt nicht in dem Sinne, daß Strahlen bestimmter Wellenlänge nur eine bestimmte Wirkung ausüben können, vielmehr überwiegt nur bei den einen die eine, bei den anderen Strahlen eine andersartige Wirkung. Dabei kommt es immer auf die Art des Körpers an, demgegenüber die Sonnenstrahlen ihre Wirkungen äußern können.

Die drei Arten von Strahlen, die man auf Grund ihrer Hauptwirkung seit langem in der Sonnenstrahlung annimmt, nämlich die Wärme-, die Licht-, die chemisch wirksamen Strahlen, bestehen also nicht gesondert für sich, vermischen sich vielmehr miteinander in ihren Wirkungen. Zumal Wärmewirkung kommt allen Sonnenstrahlen zu; man mißt mit ihr also die Gesamtenergie der Strahlung. Sie kommt am stärksten den ultraroten Strahlen (mit einer Wellenlänge von 18—0,76 μ), aber nicht weniger auch den sichtbaren gelben und roten zu; nur im violetten und ultravioletten Teile des Spektrums ist sie sehr gering. Der sichtbare Teil des Spektrums, umfassend die Wellenlängen von 0,76—0,4 μ hat sein Helligkeitsmaximum in Grün und Gelb; an ihn schließen sich die ultravioletten Strahlen an (0,4—0,29 μ), die wir unmittelbar nicht mehr wahrnehmen können.

Messungen der Stärke der Sonnenstrahlung sind vielfach ausgeführt worden. Man muß dabei scheiden die Strahlungsintensität an der oberen Grenze der Erdatmosphäre von der die Erdoberfläche treffenden. Erstere beträgt bei senkrechtem Einfall auf den Quadratzentimeter Fläche und in der Minute gegen 2 gcal. Diese Größe bezeichnet man als Solarkonstante. Sie stellt einen Mittelwert dar, da die Wärmestrahlung der verschiedenen Spektralregionen verschieden ist. Von der Gesamtenergie entfallen 60% auf das Ultrarot, gegen 40% auf das sichtbare Spektrum; kaum 1% auf das Ultraviolett.

Beim Durchgang durch die Atmosphäre erleidet die Sonnenstrahlung mehrfache Veränderungen. Zunächst wird von der Atmosphäre, abhängig von ihrem Kohlensäure- und Wassergehalt, ein Teil der Strahlung — besonders im Ultrarot — absorbiert, so daß also nur ein mehr oder weniger großer Teil der in die Atmosphäre an ihrer oberen Grenze einstrahlenden Strahlenmenge die Erdoberfläche erreicht. Sodann tritt eine Änderung durch diejenigen Vorgänge ein, die man zusammenfassend als Extinktion bezeichnet, d. h. durch Brechung, Beugung, Reflexion der Strahlen. Von besonderer Wichtigkeit ist hier die sog. diffuse Reflexion,

---

[1]) Dorno, Die Physik der Sonnenstrahlung Bd. 1 S. 504 ff.

welche die durch die Atmosphäre tretenden Strahlen an den Molekülen der sie zusammensetzenden Gase erfahren. Diese diffuse Zerstreuung ist die Ursache des diffusen Himmelslichtes, der Helligkeit auch an den von der Sonne nicht direkt beschienenen Stellen.

Die diffuse Zerstreuung betrifft nun vorwiegend die kurzwelligen Strahlen des Spektrums. Die die Atmosphäre durchsetzenden Sonnenstrahlen werden demnach immer ärmer an diesen, durch je dickere Schichten der Atmosphäre sie hindurchtreten, während das diffuse Himmelslicht daran besonders reich wird[1]). — Je tiefer die Sonne steht bei ihrem Auf- und Untergang, um so ärmer ist sie an den kurzwelligen, um so reicher an den roten und gelben Strahlen; dagegen überwiegen die ersteren bei hohem Sonnenstand und da, wo dünnere Schichten der Atmosphäre durchstrahlt werden. Daher das an blauvioletten Strahlen reiche Licht des Höhenklimas.

a. Wirkung der Wärmestrahlen.

Für die Bewertung der Wärmestrahlung des Klimas muß in Betracht gezogen werden, daß sie sich aus mehreren Größen zusammensetzt: aus der direkten Sonnenstrahlung, aus der diffus zerstreuten und aus der sog. terrestrischen Strahlung.

Bezüglich des zahlenmäßigen Anteils, den die beiden ersten Faktoren an der Gesamtstrahlung nehmen, muß auf die Darlegungen Dornos im ersten Bande verwiesen werden, oder auf Hanns Handbuch der Klimatologie (Bd. I). Erwähnt sei nur, daß bei tiefem Sonnenstande und besonders in höheren Breiten der Anteil der diffusen Strahlung beträchtlich ist und den der direkten Sonnenstrahlung übertreffen kann.

Einen sehr erheblichen Einfluß auf das Klima vermag aber die terrestrische Strahlung auszuüben. Da der größte Teil der in die Atmosphäre eintretenden Strahlung diese, sei es unverändert, sei es diffus zerstreut, durchdringt und auf die Erdoberfläche auftrifft, wird diese erwärmt. Der Grad der Erwärmung wechselt mit der Natur des Bodens. Besonders trockener und kahler Boden kann sich stark erhitzen, so daß die Temperatur der obersten Bodenschichten auch in unserem gemäßigten Klima bis zu 50°, in heißen Klimaten 60—70°, ja bis zu 85°[2]) betragen kann. Mit Vegetation bedeckter, feuchter Boden erwärmt sich viel weniger, so daß auch der Bodenbedeckung je nach ihrer Beschaffenheit eine wichtige klimatische Bedeutung zukommt.

Der erwärmte Boden strahlt Wärme wieder aus, und die von ihm herrührende Wärmestrahlung im Verein mit der direkten und modifizierten Sonnenstrahlung vermögen das Klima derart zu beeinflussen, daß in der Wirkung auf den Menschen die herrschende Lufttemperatur dagegen vollkommen zurücktreten kann.

Diese Tatsache ist allbekannt, seitdem eine Anzahl von Höhenorten in den Alpen auch im Winter besucht werden: Oberbayerische Orte wie Oberstdorf, Garmisch, oder Schweizer wie Davos, St. Moritz, Arosa u. a. Trotzdem die Lufttemperaturen weit unter 0° bleiben, vermag man schon bald nach Sonnenaufgang sich ohne Mäntel oder Pelze im Freien im Sonnenscheine zu ergehen und hat ein behagliches, in den Mittagsstunden zuweilen übermäßiges Wärmegefühl.

Zu diesem Wärmegefühl trägt noch eine andere Art von Wärmestrahlung bei, nämlich die reflektierte. Sie rührt von den bestrahlten Felswänden, von hellen Mauern her; auch die etwa vorhandene Schneedecke sowie große Wasserflächen werfen reichlich Wärmestrahlen zurück.

So fand Frankland (zitiert nach Hann) in Pontresina, daß ein 10 Fuß von einer weißen Wand aufgehängtes Thermometer 38,7° C anzeigte, über einer benachbarten

---

[1]) Vgl. auch Dorno, Die Klimatologie im Dienste der Medizin. Braunschweig 1920, und Hann, Handbuch d. Klimatologie Bd. I. 3. Aufl. Stuttgart 1908.

[2]) Von Pechuel-Lösche an der Loangoküste beobachtet.

Wiese aber nur 27,7°; am Züricher See zeigte es bei direkter und vom Wasser reflektierter Strahlung 34,0°, 1,6 km vom See entfernt unter Sonnenstrahlung nur 31,5°.

Nach Dufour machte am Genfer See die reflektierte Wärme bei niedrigem Sonnenstande (4°) 68% der direkten Wärme aus, bei 7° 40—50%, bei 16° noch 20 bis 30%. Sie hat also bei niedrigem Sonnenstande größere klimatische Bedeutung als bei hohem.

Nach den neuesten Forschungen kommt für die Wärmeausstrahlung von der Erdoberfläche noch ein bisher nicht berücksichtigter Faktor in Betracht, das ist der Zerfall der radioaktiven Elemente der Erdrinde. Er geht mit einer so erheblichen Wärmebildung einher, daß er nach den Berechnungen der Physiker genügen würde, um an sich dem Wärmeverlust der Erde durch Wärmeausstrahlung die Wage zu halten, so daß durch ihn schon die Temperatur der Erde ungeändert bliebe.

Die Wirkung der strahlenden Wärme ist vielfach an Tieren und Menschen untersucht worden.

Die ersten Versuche rühren wohl von Walther[1]) her. Er setzte Kaninchen und Hunde, die unbeweglich auf einem Brett oder freischwebend befestigt waren, bei 23—32° C der Sonnenstrahlung aus. Sie starben nach 1—2 Stunden, wobei ihre Körpertemperatur auf 44—46° gestiegen war. Die Tiere waren vor dem Tode zyanotisch gewesen, Atemfrequenz und Herzschlag waren unzählbar geworden, es traten tetanische Krämpfe auf. Weitere Versuche stellte Jacubasch[2]) an. Seine Versuchstiere, gleichfalls Kaninchen, gingen ebenso unter Temperatursteigerung auf 45,8° zugrunde. Endlich hat in neuerer Zeit Aron[3]) auf Manila an Kaninchen, Affen, Hunden eingehendere Untersuchungen ausgeführt. Selbst in der kühleren Jahreszeit starben seine Affen und Kaninchen, deren physiologische Wärmeregulation von Natur aus beschränkt ist, und tracheotomierte Hunde, deren Wärmeregulierung durch die Tracheotomie künstlich herabgesetzt ist, durch Sonnenbestrahlung. Waren sie vor den Strahlen geschützt, oder war die Wärmeabfuhr durch Erzeugung von Wind gesteigert, so kamen sie nicht zu Tode. Bemerkenswert ist, daß Bestrahlung allein des Kopfes unschädlich war, solange nicht die Körpertemperatur abnorm dadurch erhöht wurde.

Der Mensch, der durch Schweißbildung seine Temperatur besser regeln kann, verhielt sich anders. Seine Hauttemperatur (thermoelektrisch gemessen) stieg nur um 3—4° über die 32,5—33,5° betragende Norm. Wurde weiterbestrahlt, so sank die Hauttemperatur wieder im Zusammenhang mit beginnender Schweißbildung.

Interessant ist, daß die braune Haut der Eingeborenen sich weniger unter gleichen Bedingungen erwärmte, wohl weil die Schweißbildung früher einsetzte.

Sehr erheblich erwärmte sich die Luftschicht zwischen den dunklen Kopfhaaren. Ihre Temperatur stieg auf 45° und mehr.

Daß die strahlende Wärme auch auf den Menschen selbst in unserem Klima in den Sommermonaten schädlich wirken kann, ist bekannt. Sie führt auch hier zur Überwärmung und kann die als „Sonnenstich" bezeichnete Krankheit auslösen. Darüber wird unter 3. weiteres mitgeteilt werden.

Die Furcht vor der Wirkung der Wärmestrahlung und das Bestreben, sie vom Körper fernzuhalten, führt zu Maßnahmen, die im ersten Augenblick befremdlich erscheinen. So tragen — nach Stapff — manche Araberstämme im Sommer Schafpelze, so bedecken sich in Mexiko die halbindianischen Arbeiter vor den Bleiherden

---

[1]) A. Walther, Centralbl. f. die med. Wissensch. 1867 S. 770.

[2]) Jacubasch, Sonnenstich und Hitzschlag. Berlin 1879.

[3]) H. Aron, Philipp. journ. of scienc. VI S. 101—130 1911; (auszüglich auch M. Kl. 1911).

mit doppelten Filzhüten und die tscherkessischen Soldaten tragen in größter Hitze ihre Lammfellkappen.

Da der größte Teil des Körpers bekleidet zu sein pflegt, macht sich die Wärmestrahlung geltend durch Erwärmung der Kleider, und diese werden dann zu einer Wärmequelle für den Körper. Wie hoch in den Bekleidungsstücken die Temperatur steigen kann, hat Hiller untersucht. Er fand bei Infanteristen an sonnigen Tagen die Temperatur in der Mütze, im Helme, im Mantel, im Tornister bis an 40° C, in der Mütze einmal auf 45,8° steigen.

So bedeutet die Sonnenstrahlung eine Wärmezufuhr, die zur Überwärmung des Körpers mit ihren Folgen führen kann.

Eine nähere Einsicht in die hier maßgebenden quantitativen Verhältnisse verdanken wir experimentellen Untersuchungen, die von verschiedenen Seiten ausgeführt worden sind. Zunächst stellte Rubner für den Menschen fest, wie sich bei Bestrahlung mit dunklen Wärmestrahlen und bei Sonnenstrahlung, die dunkle und helle Strahlen zugleich enthält, die Hauttemperatur und damit das Wärmegefühl gestalten. Eine Steigerung ersterer um 0,9° soll gerade fühlbar werden, um 1,2—1,5° als warm, um 2,8—3,0° als störende Hitze empfunden worden[1]).

Fühlbar wurde die Wärmezunahme bei dunkler Wärmestrahlung, wenn pro Quadratzentimeter und Minute der Gesichtshaut bei 17—18° Lufttemperatur 0,025 gcal zugeführt wurden. Lag die Lufttemperatur höher, so brauchte die Wärmezufuhr nicht ganz so groß zu sein. Zufuhr von 0,09 gcal machte Hitzegefühl; 0,37 gcal bewirkten unerträgliches Hitzegefühl. Sonnenbestrahlung dagegen wurde besser vertragen. Hierbei wurde bei 22—23° Lufttemperatur eine Zufuhr von 0,55—0,73 gcal pro Quadratzentimeter und Minute noch nicht einmal beachtet[2]). Die Anwesenheit der hellen Strahlen in der Sonne macht die Strahlung also erträglicher und läßt kein so starkes Hitzegefühl aufkommen.

Im gemäßigten Klima beträgt die auf die Erdoberfläche, also auch auf die belebten Wesen auftreffende Sonnenstrahlung etwa 0,6—1,1 cal pro Quadratzentimeter und Minute.

Nach noch nicht veröffentlichten Versuchen von Dorno und Loewy dürften diese Werte nicht als allgemeingültig angenommen werden. Für die Beziehung von Hauttemperatur zu Wärmegefühl spielt die Höhe der ersteren vor der Bestrahlung eine wesentliche Rolle. Sie kann um 10° und mehr steigen, bis es zu störendem Hitzegefühl kommt.

Auch die absoluten Zustrahlungsmengen in gcal, die noch gut ertragen werden konnten, lagen erheblich höher als bei Rubner.

Dunkle und helle Strahlen verhalten sich nun verschieden in bezug auf ihre Penetrationskraft in den Körper und im Körper selbst. Schmidt[3]) hat auf thermoelektrischem Wege hierüber festgestellt, daß die Haut, aber auch Muskeln, Knochen, Fett, Blut für die ultraroten Strahlen am besten durchgängig sind, gut auch noch für die roten, viel weniger für die übrigen kürzerwelligen Strahlen. Blut läßt von den grünen Strahlen nur noch wenig, von den blauen nichts mehr hindurch. Ebenso fand Busk[4]), daß die Durchdringungsfähigkeit der verschiedenen Strahlen sich so gestaltet, daß, wenn die für Violett = 1 genommen wird, die der ultravioletten geringer ist, die der roten bis zu 22, die der ultraroten bis zu 28 beträgt.

[1]) Rubner, Handbuch d. Hygiene von Rubner, Gruber, Ficker Bd. I. Leipzig 1911.
[2]) Rubner, Arch. f. Hyg. Bd. 23 S. 130 (1895).
[3]) P. Schmidt, Arch. f. Hyg. 65 S. 17 (1908).
[4]) G. Busk, Mitt. aus Finsens Lichtiert. Hft. 4, 29, 1903.

Busk bediente sich verschiedener Methoden des Nachweises. In der einen Reihe ließ er konzentriertes Sonnenlicht oder Kohlenbogenlicht auf die Dorsalfläche der Hand fallen, legte unter die Hand ein photographisches Negativ und eine Bromsilberplatte, und stellte fest, wie lange er belichten mußte, um das positive Abbild des Negativs auf der Bromsilberplatte zu erzeugen. Dazu war an der Handfläche bei einer Gewebsdicke von 2,8 cm 1 Sekunde erforderlich; am Daumenballen 3,4 cm dick: 1—3 Minuten; am Handgelenk 3,7 cm dick: 4 Minuten, wenn Bogenlicht benutzt wurde.

Gleiche Beobachtungen von Onimus, Gebhardt u. a. hat Jesionek[1]) zusammengestellt.

Weiter verwendete Busk das spektroskopische Verfahren, indem er feststellte, welche Strahlen bei Zwischenlagerung verschieden dicker Hautschichten ausgelöscht wurden. Diese Methode hatte auch Finsen benutzt. Durch die dünnste Schicht wurden die blauvioletten, durch die dickste auch die roten ausgelöscht.

Unkonzentriertes Sonnenlicht benutzte Lenkei[2]). Er fand, daß von diesem nur 1% bis zu 0,5 cm Tiefe in die Haut eindringt, wovon 85% auf die rotgelben, nur 5% auf die blauvioletten Strahlen entfallen.

Die inneren ultravioletten, violetten und blauen Strahlen dringen also durch die Epidermis hindurch (die äußeren ultravioletten werden von ihr absorbiert), werden dann aber in dem Hautkapillarblut zurückgehalten; die gelben, roten und ultraroten dringen jedoch weiter in das Körperinnere[3]).

Der Körper stellt also einen Wärmesammler dar, allerdings ungleich für Strahlen verschiedener Wellenlänge.

Für die Frage der Klimawirkung ist es nun besonders wichtig zu wissen, wieviel von der Sonnenstrahlung ins Körperinnere gelangt, wieviel von den Körperbedeckungen absorbiert wird. Nach Schmidts Feststellungen muß man als erwiesen annehmen, daß die Haut, und zwar die weiße Haut, bereits 90% der sie treffenden Strahlen absorbiert und nur 10% hindurchläßt. Die farbige Haut des Negers hält sogar 95% zurück und läßt nur 5% hindurchtreten.

Da, wo die inneren Organe noch durch weitere, besonders knöcherne Hüllen geschützt sind, wird durch diese noch so viel Wärme zurückgehalten, daß fast nichts mehr hindurchdringt. Nach Schmidts Versuchen am Schädel werden durch ihn 99% der Wärme absorbiert; nur 1% kann in das Schädelinnere dringen. —

Aber so gut danach der Schutz des Gehirns vor der einstrahlenden Wärme ist, so genügt die von der Schädelkapsel und ihren Bedeckungen absorbierte und in Wärme umgewandelte Strahlung doch, um eine so starke Erwärmung zustande kommen zu lassen, daß unter den Bedingungen des Tropenklimas pro Stunde etwa 30 Cal ihm zugeführt werden, selbst wenn man die durch Wärmeableitung, Reflexion und durch Wärmebindung infolge Schweißbildung erfolgende Wärmeabgabe berücksichtigt. Es erweist sich also die sekundär, durch Leitung der in der Schädeldecke absorbierten Sonnenwärme entstehende Erwärmung der Hirnrinde von größerer Bedeutung als die primäre Erwärmung durch die Sonnenstrahlung.

Schmidt hält dieses Ergebnis für wichtig zur Erklärung des sog. Sonnenstiches. Das darf aber nicht so aufgefaßt werden, als ob bei Bestrahlung des Schädels einseitig eine Erhitzung des Schädelinneren zustande kommt; denn das in ihm kreisende Blut erwärmt sich gleichfalls und überträgt, indem es einen wichtigen Faktor für die Wärmeableitung aus dem Gehirn darstellt, die in ihm angesammelte Wärme auf den gesamten übrigen Körper. So ist der früher erwähnte Befund von Aron zu verstehen, daß bei Schädelbestrahlungen Schädigungen erst beobachtet wurden, wenn die Körpertemperatur dadurch übermäßig erhöht war. —

---

[1]) Jesionek, Lichtbiologie. Braunschweig 1910.

[2]) Lenkei, Zschr. f. physikal. u. diätet. Therapie Bd. 9 S. 194, u. Bd. 11 u. 12.

[3]) Bering, M. m. W. 1912 S. 2795.

Die physiologischen Wirkungen der Wärmestrahlung sind am Hunde und am Menschen untersucht worden. An ersterem fanden Rubner und Cramer[1]) — bei Lufttemperaturen zwischen 25 und 28° und einer Sonnenbestrahlung (die mittels eines an einem Pyrheliometer geeichten Schwarzkugelthermometers gemessen war[2])) von 0,61—0,74 cal für den Quadratzentimeter und die Minute — eine Steigerung des Gesamtstoffwechsels und eine erhebliche Vermehrung der Wasserdampfabgabe. Beide Wirkungen können nicht als spezifische Strahlenwirkungen betrachtet werden. Denn sie lassen sich aus der erhöhten Körpertemperatur des Tieres erklären, wobei die gesteigerte Wasserabgabe der Wärmeregelung dient.

Aus den Versuchszahlen berechnete Rubner, welches der quantitative Effekt der Bestrahlung war, d. h. um wieviel die Lufttemperatur hätte erhöht werden müssen, um die gleiche Wirkung auf die Stoffwechselprozesse auszuüben, die durch die zugeführte Wärmestrahlung hervorgerufen war. Es ergab sich, daß der Stoffwechsel so geändert war, wie wenn die Lufttemperatur um die halbe Differenz zwischen Sonnentemperatur (durch das Schwarzkugelthermometer gemessen) und Schattentemperatur gestiegen wäre. Dieser zahlenmäßige Effekt gilt aber nur für den vorliegenden Einzelfall, er darf nicht verallgemeinert werden, wie es meist geschieht, wie wenn gesetzmäßig in jedem Falle die Wärmestrahlung gleich einem Lufttemperaturzuwachs entsprechend der halben Differenz des Sonnen- und Schattenthermometers wirkte. Besonders dürfen die Ergebnisse nicht auf den Menschen übertragen werden. Denn für die Wirkung der Strahlung wesentlich ist die Farbe der Haut, ihre Glätte, bezüglich die geringe Behaarung gegenüber dem Haarkleid der Tiere.

Am Menschen hat Wolpert[3]) gleichartige Versuche ausgeführt. Er fand auch bei diesem Zunahme der Wasserdampfabgabe beim Aufenthalt in der Sonne, die auch hier — angesichts der hohen Temperaturen, unter denen die Versuche durchgeführt sind — als wärmeregulierendes Mittel gegenüber der zugestrahlten Wärme aufgefaßt werden muß. Denn die Besonnung geschah an bekleideten Menschen bei Lufttemperaturen von 20,5—22.0° C, wobei das Sonnenthermometer auf 38° stieg, an nackten bei 25,0—29,7° Lufttemperatur und 40,7° in der Sonne.

Der Gaswechsel zeigte beim Menschen unter diesen Umständen keine gesetzmäßige Änderung, wie sich aus der folgenden Tabelle ergibt. In ihr zeigt nur der zweite Versuch eine Steigerung, der vierte gegenüber dem dritten aber keine.

Tabelle 8.

Lufttemperatur C°	Temperatur in der Sonne C°	Atemvolumen pro Minute Liter	Sauerstoffverbrauch pro Minute ccm	Bemerkungen
20,5	—	4,979	292,0	Bekleidet im Schatten. — Mittel aus 6 Versuchen.
22,0	38,0	6,376	336,0	Bekleidet in Sonne. Schweiß an Hals u. Brust. 2 Versuche
25,0	—	6,052	318,3	Nackt im Schatten. 1 Versuch.
29,7	40,7	5,480	307,7	Nackt in Sonne. Starker Schweiß. Mittel aus 2 Versuchen.

[1]) Rubner und Cramer, Arch. f. Hyg. 20 (1894).

[2]) E. Cramer, ebenda S. 313.

[3]) Wolpert: Arch. f. Hygiene 44 (1902).

Wolpert selbst zieht aus seinen Zahlenwerten den Schluß, daß seine Ergebnisse in vollkommener Übereinstimmung mit den eben mitgeteilten von Rubner und Cramer am Hunde ständen hinsichtlich der wärmenden Wirkung der Sonne. Jedoch zeigt eine kritische Betrachtung seiner Werte, daß dieser Schluß nicht gerechtfertigt ist.

Eine besondere Wirkung übt die Wärmestrahlung auf den bekleideten Menschen aus. Die Kleider, die in ihnen befindliche Luft sowie weiter die die Körperoberfläche umspülende Luftschicht werden erwärmt. Mit dieser Erwärmung wird die Luft aber auch relativ trockener, so daß die Haut mit einer sowohl wärmeren wie trockneren Luft in Berührung kommt (Rubner). Durch beides wird die Wärmeempfindung erhöht, so daß bei tiefen oder mittleren Außentemperaturen ein erhöhtes Gefühl der Behaglichkeit entsteht.

β. Wirkung der leuchtenden Strahlen[1]).

Ob die leuchtenden Strahlen oder, wie man gemeinhin sagt, das Licht, einen Einfluß auf unsere und allgemein auf die körperlichen Funktionen der tierischen Lebewesen ausübt, ist eine vielumstrittene Frage gewesen, die häufig in Tierversuchen und am Menschen zur Untersuchung kam. Dabei muß natürlich entweder eine Strahlung, die nicht so reich an Wärmestrahlen ist, daß diese einen Einfluß äußern könnten, benutzt werden, oder die Lufttemperatur muß so niedrig sein, daß auch eine energische Zustrahlung nicht zur Überwärmung führt. Die Versuche dürfen deshalb entweder nicht in der Sonne angestellt werden, sondern in zerstreutem Tageslichte und die Ergebnisse müssen verglichen werden mit den im Dunkeln gewonnenen, oder sie müssen in einem kalten Klima durchgeführt werden. Dazu wurde bisher das Höhenklima benutzt.

Das Licht hat nun die Fähigkeit, auf unsere Psyche zu wirken. Darauf wird in einem späteren Abschnitt ausführlicher eingegangen werden (vgl. unter 4). Hier sei nur als bedeutsam für die Beurteilung der Lichtwirkungen auf die Körpertätigkeit hervorgehoben, daß das Licht den Bewegungsdrang steigert, es macht Tier und Mensch lebhafter, agiler und muß auf diesem Wege den Stoffumsatz steigern, also den ganzen Ernährungszustand beeinflussen[2]). Es ist daher kein Wunder, wenn frühere Untersuchungen an frei beweglichen und sich bewegenden Tieren einen gesteigerten Umsatz beim Aufenthalt im Hellen gegenüber dem im Dunkeln fanden[3]). So war es bei Fröschen, Vögeln, Säugetieren. Bemerkenswert ist dabei nur, daß beim Frosche wie am Hund, wie an der Maus und anderen Tierspezies eine gleiche Reihenfolge für das Wachsen des Umsatzes in verschiedenfarbigem Lichte zu erkennen war.

So fanden für den Hund Selmi und Piacentini[4]), daß, die Kohlensäureausscheidung im weißen Licht gleich 100 gesetzt, sie im violetten 88, im roten 92, im blauen 104, im grünen 106, im gelben 126 betrug. Ebenso bei der Maus, die im violetten Licht 87, im roten 93, im weißen 100, im blauen 123, im grünen 128, im gelben 176 Volumina Kohlensäure ausschied[5]). Das gleiche fand sich bei Meerschweinchen Kaninchen, Vögeln, Kröten, wie Fubini und Spalitta feststellten[6]).

---

[1]) Von allgemeinen Gesichtspunkten aus behandelt C. Neuberg die „Beziehungen des Lebens zum Licht". Berlin 1913.

[2]) Ausführliches über den Einfluß des Lichtes auf die Bewegungen von Tieren bei Jesionek, Lichtbiologie. Braunschweig 1910. S. 91 ff.

[3]) Literaturhinweise bei Loewy, Handbuch d. Biochemie. 2. Aufl. VI A. S. 215.

[4]) Selmi und Piacentini, Rendiconti real istitut. Lombard. 1870.

[5]) Pott, Habilitationsschrift. Jena 1875.

[6]) Fubini und Spalitta, Moleschotts Untersuchungen zur Naturlehre. 1888.

Der Bewegungsdrang wird also durch Licht verschiedener Brechbarkeit verschieden intensiv angeregt, am meisten durch Grün und Gelb, in denen das Helligkeitsmaximum des Spektrums gelegen ist.

Angeregt wird die Bewegung nun nicht nur durch den optischen Eindruck, auch die Haut scheint für die hellen Strahlen empfindlich zu sein, sofern hier nicht Wärmewirkungen mit im Spiele sind. Denn auch an geblendeten Fröschen, bei erblindeten Tieren und an den augenlosen Regenwürmern fand sich im Hellen ein höherer Umsatz als im Dunkeln.

Dagegen war an kurarersierten Tieren keinerlei Unterschied im Umsatz festzustellen[1]).

Belichtet man jedoch kuraresierte Tiere und untersucht den Stoffumsatz des durch die optischen Reize erregten Gehirns, so findet man ihn, wie Alexander und Révécz[2]) feststellten, gegenüber dem ohne Belichtung, wenn auch wenig, gesteigert.

Am Menschen hat zuerst Speck[3]) den Einfluß des Lichtes auf den Gaswechsel untersucht. Er war selbst Versuchsobjekt und vermied bewußt jede Muskeltätigkeit. Dabei ergab sich, daß sein Gaswechsel, untersucht einmal bei offenen, sodann bei verbundenen Augen, gleich blieb. Dasselbe stellte auch Salomon[4]) fest, als er Rumpf und Oberschenkel 23 Minuten lang mittels einer Bogenlampe, die eine Lichtstärke von 800 Kerzen besaß und 1½ m vom Körper angebracht war, bestrahlte. Vor der Bestrahlung fand er einen Sauerstoffverbrauch von 249,8 ccm pro Minute, während derselben 249,7 ccm. Nach der Bestrahlung lag der Umsatz etwas niedriger, bei 233,2 ccm Sauerstoffverbrauch.

Unter natürlicheren Verhältnissen, nämlich unter wechselnder Belichtung im Freien, wobei die Wirkung der an das Klima gebundenen Lichtreize besser zum Ausdruck kommt, ist die Frage neuerdings im Polarklima und im Höhenklima wieder in Angriff genommen worden.

Zunächst untersuchte Lindhard[5]) den Gaswechsel im Polarklima, wobei er sein Verhalten während des dauernden Polarsommers mit dem im dauernden Polarwinter verglich. Hier handelt es sich nicht um die Bedeutung kurzdauernder starker Belichtung, vielmehr um den Gegensatz zwischen dauernder, sehr schwacher und ununterbrochener stärkerer Belichtung. Lindhard konnte Unterschiede in dem Sinne feststellen, daß in der hellen Zeit der Gaswechsel gesteigert war gegenüber der Periode der Dunkelheit.

Die gleichen Unterschiede hat Lindhard[6]) bei Personen gesehen, deren Gaswechsel in Kopenhagen im Sommer und im Winter bestimmt wurde. Im Sommer war der Sauerstoffverbrauch höher als im Winter. Lindhard bezieht diesen Unterschied auf die verschieden starke Belichtung.

Solche Unterschiede waren aber von anderen Untersuchern, so von Durig[7]), nicht festzustellen, der im Sommer und Winter den Gaswechsel in Wien, auf dem Semmering und an anderen Höhenstationen untersuchte.

---

[1]) C. A. Ewald, Journ. of physiol. XIII (1892).

[2]) Alexander und Révécz, Biochem. Zschr. 44 S. 95 (1912).

[3]) Speck, Physiol. d. menschl. Atmung. Leipzig 1892.

[4]) C. Salomon, v. Noorchens Handbuch d. Pathol. d. Stoffw. Berlin 1907. II S. 622.

[5]) J. Lindhard, Contribution to the physiol. of respiration under the arctic climate. Kopenhagen 1910.

[6]) J. Lindhard, The seuronal periodicity in respiration. Skandin. Arch. f. Phys. 26 S. 221 (1912).

[7]) A. Durig, Denkschrift d. Wiener Akad. 86.

Untersuchungen im Höhenklima bringen das meiste Material über die Lichtwirkung auf den Gaswechsel des Menschen bei. Zunächst achteten Durig und Zuntz[1]) bei ihrem Aufenthalt am Monte Rosa auf diesen Punkt, ferner stellten Durig, v. Schrötter und Zuntz[2]) auf Teneriffa eine Reihe von Versuchen darüber an, endlich besonders eingehende Hasselbalch und Lindhard[3]) in den Alpen.

Letztere Autoren schreiben dem Licht einen erheblichen Anteil an der den Stoffwechsel steigernden Wirkung des Höhenklimas zu. Sie tun dies auf Grund der Unterschiede, die sie in Versuchen fanden, welche sie in gleicher Höhe (3290 m am Kesselwandjoch in den Ötztaler Alpen) anstellten, einerseits unter Ausschließung der Lichtwirkung durch entsprechende Bekleidung, wie dunkle Schleier, Handschuhe u. a., andererseits bei intensiver Belichtung des Körpers. Durig, Zuntz, v. Schrötter konnten sich von dieser konstanten Wirkung des Lichtes nicht überzeugen.

Im einzelnen sind also die Ergebnisse schwankend, aber sie sprechen im allgemeinen nicht für eine bestimmte Wirkung der Belichtung auf die Umsatzprozesse des ruhenden Menschen. — Ein spezifischer Effekt auf den Stoffwechsel kann danach vorläufig den leuchtenden Strahlen nicht zugeschrieben werden. Aber die Stoffwechselsteigerung, die bei nicht vorsätzlicher Ruhe durch Anregung der Muskeltätigkeit zustande kommt, ist vom klimatologischen Standpunkte aus wertvoll, da sie die Zellen zu vermehrter Tätigkeit anregt.

Anders als der Atmungschemismus verhält sich die Atmungsmechanik, die vielfach unter Belichtung geändert wird. Darauf wird im Abschnitt B 2 näher eingegangen werden.

In Versuchen von Hasselbalch, der die Atmungsvorgänge unter Beleuchtung mit Kohlenbogenlicht untersuchte, spielen die ultravioletten Strahlen eine besondere Rolle. Sie werden im nächsten Abschnitt besprochen werden.

Auf die Bedeutung des Lichtes für Entwicklung und Wachstum, die an niederen Tieren festgestellt worden ist, kann in dieser, im wesentlichen den Menschen betreffenden Darstellung nur hingewiesen werden. Eine Förderung wurde an Froscheiern, Froschlarven, jungen Salamandern, auch angeblich an Polypen und an Seidenwürmern gefunden.

Wesentlicher ist, daß Kaninchenjunge im Dunkeln leicht zugrunde gehen.

Der Wiederersatz abgetrennter Glieder von Amphibien und Reptilien[4]) vollzieht sich im Lichte schneller und vollkommener als in Dunkelheit. Den wesentlichen Anteil an diesen Wirkungen haben die blauen und violetten Lichtstrahlen.

γ. Die chemisch wirksamen Strahlen*).

Die kurzwelligen Strahlen des Spektrums werden, wie aus dem vorigen Abschnitt sich ergab, am intensivsten von der Haut zurückgehalten. Spuren von violetten und ultravioletten Strahlen durchdringen die Haut nach Lenkei bis zu 3 cm Tiefe.

Außer den schon erwähnten Versuchen von Lenkei und Busk zeigen dies solche von Godneff, der Glasröhrchen mit Chlorsilber, und von Solucho, der Bromsilbergelatine unter die Haut von Tieren (Hunden und Katzen) brachte. Nach Bestrahlung mit Sonnen- bzw. elektrischem Bogenlichte fand sich eine Schwärzung

---

[1]) Durig und Zuntz, Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1904 Supplem. S. 417.

[2]) Durig, v. Schrötter, Zuntz, Biochem. Zschr. 39 S. 469 (1912).

[3]) Hasselbalch und Lindhard, Skand. Arch. f. Physiol. 25 S. 361 (1911).

[4]) Angeführt bei Jesionek, a. a. O. S. 100.

*) Ausführliche Literaturangaben bei Jesionek, Lichtbiologie. Ergebn. auf d. Gebiete d. Haut- u. Geschlechtskrankh. II. Wiesbaden 1912.

der Silbersalze. Ebenso wurde Bromsilber zersetzt, das im Munde von Menschen an die eine Wange gelegt wurde, wenn diese außen mit Bogenlicht bestrahlt wurde.

Immerhin sind die durchgehenden Lichtmengen so gering, daß sie biologische Wirkungen wenig oder gar nicht mehr entfalten können. Das fand schon Finsen. Er bestrahlte das Ohr eines albinotischen Kaninchens mit konzentriertem Sonnenlicht und ließ dieses auf eine hinter dem Ohr aufgestellte Bakterienkultur fallen. Er fand, daß die sonst sehr energische bakterizide Wirkung nun abgeschwächt war.

Klingmüller und Halberstädter[1]) ließen ultraviolettes Licht auf tuberkulöse Herde in der Haut fallen. Die bestrahlten Stellen wurden exzidiert und ihr Gewebe war für Meerschweinchen noch virulent. Die Haut hatte die Wirkung der Strahlen vernichtet. Ähnliches erweisen Versuche von Jansen[2]), aus denen hervorgeht, daß die ultravioletten Strahlen nur bis zu 1,5 mm Tiefe in die menschliche Haut eindringen können, sowie daß eine 0,2 mm dicke Schicht tuberkulösen Gewebes erst durch einstündige Bestrahlung mit solchem Licht seine Virulenz verliert[3]).

Wenn die kurzwelligen Strahlen in der Haut zum größten Teil zurückgehalten werden, müssen sie an dieser besondere Wirkungen äußern.

Daß das Licht die Haut zu verändern vermag, ist eine altbekannte Erfahrung. Aber es hat vielfacher experimenteller Untersuchungen bedurft, um zu erkennen, daß die sog. chemischen Strahlen es sind, die die Hautveränderungen hervorrufen.

Bewiesen wurde das zuerst von Widmark[4]), dessen Ergebnisse dann von Hammer[5]) bestätigt und besonders von Finsen[6]) vertieft wurden.

Sie zeigten an Tier- und Menschenhaut dadurch, daß sie durch Filtration der verschiedenen Anteile des Spektrums teils nur die ultraroten und roten, teils die gelbgrünen, also lichtstärksten, teils nur die blauvioletten bzw. ultravioletten Strahlen auf die Haut fallen ließen, daß nur letztere es sind, die die als Lichtreaktion, in höheren Graden als Sonnenbrand bezeichneten Veränderungen auslösen.

Daß diese nicht durch die Wärmestrahlen, wie man früher annahm — die Bezeichnung Sonnenbrand deutet noch darauf hin —, verursacht werden, konnte man aus den Erfahrungen im Höhenklima und im Polarklima entnehmen. Der „Gletscherbrand", der in ersterem sich ausbildet, wird durch eine Strahlung verursacht, die besonders reich an ultravioletten Strahlen ist und, wie das Gefühl erweist, arm an wärmenden, und im Polarklima werden dem Gletscherbrand ganz gleiche Hautveränderungen gefunden.

Die kurzwelligen Strahlen äußern sich auf der Haut nach zweierlei Richtungen: sie beeinflussen das Gefäßsystem und das Hautpigment.

Ersteres kennzeichnet sich darin, daß die Haut sich unter an kurzwelligen Strahlen reichem Lichte rötet. Diese Rötung weicht in eigenartiger Weise von der durch Wärme veranlaßten ab, indem sie im Gegensatz zu letzterer nicht sogleich bei der Bestrahlung auftritt, vielmehr erst später sich ausbildet und mehr oder weniger lange Zeit bestehen bleibt, je nach Dauer und Stärke der Bestrahlung. So fand Finsen an sich selbst bei 20 Minuten langer Bestrahlung mit an ultravioletten Strahlen

---

[1]) Klingmüller und Halberstädter, D. m. W. 1905 Nr. 14.

[2]) Jansen, Mitteilungen aus Finsens med. Lichtinst. IV (1903).

[3]) Genaue photometrische Bestimmungen über die Durchlässigkeit menschlicher Haut für die Strahlen einer Quecksilberquarzlampe führte Hasselbalch aus (Skand. Arch. f. Physiol. 25 S. 55 (1911)).

[4]) Widmark, Einfluß des Lichtes auf die Haut. Verhandl. d. biolog. Vereins, Stockholm 1888, und Skand. Arch. f. Physiol. 1 und IV.

[5]) Hammer, Einfluß des Lichtes auf die Haut. Stuttgart 1891.

[6]) Finsen, Mitteilungen aus Finsens Lichtinst. Verschiedene Jahrgänge.

reichem Bogenlicht, daß 12 Stunden danach die ihnen ausgesetzt gewesenen Hautstellen dunkelrot waren, und daneben empfindlich gegen Berührung. Die Rötung hielt einige Tage an und blaßte dann allmählich ab, wobei die Haut sich abschilferte. Zurück blieb für mehr als ein halbes Jahr eine braune Verfärbung der Hautstellen. Durch mehrmalige Bestrahlung brachte Hasselbalch eine Hautröte hervor, die 6—9 Monate anhielt.

Wie Finsen zeigte, wirken so am stärksten die ultravioletten Strahlen, aber auch die sichtbaren blauen und violetten üben einen gleichen, wenn auch schwächeren Effekt aus. Zu seinem Zustandekommen ist dabei nicht eine ein- oder mehrmalige intensive Bestrahlung erforderlich, vielmehr wirkt eine dauernde, wenn auch schwächere Belichtung in der gleichen Weise. Auch sie ruft eine Erweiterung der Hautgefäße und reichliche Durchblutung der Haut und damit eine Rötung derselben hervor. Diesen letzteren Fall beobachten wir als gewöhnliche Klimawirkung in unseren Breiten: langer Aufenthalt im Freien führt zu einer Rötung der freigehaltenen Körperteile; alle, deren Berufsarbeit in der freien Natur vor sich geht, erfreuen sich einer gut geröteten Haut im Gegensatz zum Stubenmenschen. Sie gilt als Zeichen der Gesundheit und gesteigerter Widerstandskraft gegen die die Körperoberfläche treffenden Witterungseinflüsse.

Wird die Haut lange Zeit intensivem Lichte ausgesetzt, so bleibt es nicht bei ihrer Rötung. Das Lichterythem geht in eine Entzündung über („Lichtekzem“), die alle Grade der Hautentzündung durchlaufen kann. Von den ultravioletten Strahlen wurde in Finsens Versuch, wie schon erwähnt, eine milde Entzündung hervorgerufen, aber langdauernde Belichtung schon mit den kurzwelligen, sichtbaren Sonnenstrahlen kann viel weitergehende Hautentzündungen machen. Die zunächst nur gerötete Haut wird heiß und brennend, sie schwillt an, es kommt zum Auftreten von Bläschen oder größeren Blasen. Platzen diese, so beginnt die Haut zu nässen, es kommt zur Abscheidung einer mehr oder weniger großen Menge von Lymphplasma. Allmählich trocknen die nässenden Stellen unter Borkenbildung ein und zurück bleibt schließlich eine bräunlich pigmentierte Stelle.

Bis zur Blasenbildung braucht es nicht immer zu kommen, die gerötete, geschwollene und schmerzhafte Haut kann sich unter Abschiebung der Epidermis, die in Abschilferung oder Ablösung größerer Fetzen erfolgen kann, zum Normalzustand, allerdings unter Pigmentierung, zurückbilden.

Die zweite Wirkung, auf das Hautpigment, scheint unabhängig von der ersten zustande zu kommen. Jedenfalls ist sie nicht an das Auftreten eines Lichterythems gebunden; die zunehmende Braunfärbung der Haut im Lichte, beruhend auf einer erhöhten Tätigkeit der Hautpigmentzellen, kann erfolgen ohne jedes Zeichen von Hautentzündung und Hautrötung.

Die Anregung der Pigmentbildung kann als ein Schutzvorgang angesehen werden. Der braune Farbstoff absorbiert die kurzwelligen Strahlen und schützt so die tieferen Hautpartien. Da, wo er reichlich vorhanden ist, kommt es nicht leicht zur Ausbildung einer Hautentzündung durch blauviolettes Licht. Schon Sommersprossen können, wie Bowles[1]) beobachtete, in dieser Weise schützend wirken.

Diese schützende Wirkung des Hautpigmentes gegen die Hautschädigungen durch Licht ergibt sich auch daraus, daß diese besonders intensiv sich geltend macht dort, wo die Haut, sei es aus pathologischen Ursachen, ihren Farbstoff verloren hat, sei es durch eine Entwicklungsstörung pigmentfrei gebildet ist, wie bei albinotischen

---

[1]) Zitiert nach Jesionek, a. a. O. S. 133.

Menschen und Tieren. Eine solche Haut wird besonders schwer von den schädlichen Wirkungen des Lichtes betroffen.

Dementsprechend sehen wir, daß parallel mit der verschiedenen Lichtfülle eines Klimas die Haut der in ihm lebenden Menschenrassen verschieden stark pigmentiert ist; am meisten im tropischen Klima, wo sie von gelb durch braun bis zu schwarz gefärbt ist. Weniger im gemäßigten Klima; aber auch hier wieder sind die südlicher Wohnenden dunkler als die Nordländer. — Die Haut des Negers soll, wenn er lange in nördlichen Zonen gelebt hat, sich aufhellen. —

Neben dem bisher geschilderten allgemeinen Einfluß auf das Hautorgan ist häufig noch ein weiterer beobachtet worden, der sich auf seine epidermoidalen Anhangsgebilde bezieht, auf Nägel und Haare. Das Wachstum beider wird durch die chemisch wirksamen Lichtstrahlen angeregt. Die gewöhnliche Erfahrung lehrt schon, daß Nägel und Haare im Sommer schneller wachsen als im Winter, und das Experiment hat gezeigt, daß die chemischen Lichtstrahlen es sind, die diese Wirkung hervorbringen. Daher tritt der haarwuchsfördernde Effekt besonders im Höhenklima zutage, wo er Bernhard[1]) und Rollier bei lange im Sonnenlicht gehaltenen Kranken auffiel.

Als unliebsame Nebenwirkung hat er sich auch bemerkbar gemacht, wo an ultravioletten Strahlen reiches Licht zu bestimmten therapeutischen Zwecken verwandt wurde. Versuche von Unna[2]) und Möller[3]) haben die anatomischen Veränderungen des Haarbodens, die zu der gesteigerten Haarbildung führen, mikroskopisch festgestellt. Man hat infolgedessen mit Erfolg versucht, Bogenlichtbestrahlung gegen Haarausfall zu verwenden.

Endlich sei einer Beobachtung von Bernhard[1]) gedacht, wonach intensive Sonnenbeleuchtung eine analgetische Wirkung haben soll. Es muß sich um einen noch nicht erklärten Einfluß auf die sensiblen Endorgane der Haut handeln, analog etwa der Schmerzstillung durch Wärme, die allgemeiner bekannt ist. —

Der Anteil an chemischen Lichtstrahlen, der die Oberhaut durchdringt, fällt auf das Blut der Hautkapillaren und wird von diesem absorbiert. Welche Bedeutung die so aufgenommene Energiemenge für das Blut selbst und für die physiologischen Vorgänge im Körper hat, ist nicht sicher erkannt, wenn auch Erfahrungen dafür vorliegen, daß das Blut selbst durch Aufnahme von Lichtstrahlen verändert wird. So berichtet Schläpfer[4]) über eine eigentümliche Beeinflussung des Blutes durch Licht. Schläpfer fand, daß (Kaninchen- und Menschen-) Blut schwach selbstleuchtend, „photoaktiv" ist, d. h. es vermag Strahlen abzugeben, die die photographische Platte verändern. Diese Fähigkeit wird nun durch Belichtung erheblich gesteigert. Schläpfer nimmt an, daß dies dadurch geschieht, daß das Licht die Lipoidstoffe des Blutes — Cholesterin und Lezithin — verändert, wie dies unter gleichzeitiger Verwendung von Katalysatoren für das Lezithin unter Sonnenbestrahlung von Neuberg[5]) nachgewiesen worden ist. Es tritt eine langsame Oxydation ein, die zur Abgabe von chemisch wirksamen Strahlen führt. Das Licht stellt also einen Oxydationsreiz dar. Ob bzw. welche Bedeutung dieses für die sonstigen Oxydationsvorgänge in den Geweben hat, ist unklar. Erwähnt wurde schon (vgl. S. 35), daß nicht festgestellt werden konnte, daß das Stoffwechselminimum, der Erhaltungs-

---

[1]) O. Bernhard, Heliotherapie im Hochgebirge. Stuttgart 1912, S. 12.
[2]) Unna, Monatsschr. f. prakt. Dermat. IV, 1885.
[3]) Möller, Der Einfluß des Lichtes auf die Haut. Biblioth. med. D II (1900).
[4]) Schläpfer, Pflüg. Arch. 108 S. 537 (1905).
[5]) C. Neuberg, Biochem. Zschr. 13 (1908).

umsatz, durch Belichtung erhöht, die Körpergewebe also zu gesteigerter Oxydationstätigkeit angeregt werden. Diesing[1]) glaubt, daß die vom Blute aufgenommene Lichtenergie dessen Eisen befähige, den Geweben reichlicher Sauerstoff zuzuführen. Überlebende Gewebe sollen allerdings nach Abderhalden und Wertheimer unter Bestrahlung einen gesteigerten Sauerstoffverbauch haben.

Jedenfalls darf man annehmen, daß die in die Haut eingetretenen kurzwelligen Strahlen in eine andere Energieform verwandelt vom Hautcapillarblut aufgenommen werden und daß diese Energie vom Blute bei seiner Berührung mit den Geweben wieder abgegeben wird. Die Einzelheiten sind noch unbekannt. Aber so könnten sich die Einwirkungen erklären, die Bestrahlungen mit kurzwelligem, an ultravioletten Strahlen reichem Licht auf innere Organe äußern. Das Knochenmark und auch andere Organe zeigen sich histologisch verändert[2]) und, wie Ishido[3]) fand, wird dadurch bei durch vitaminfreie Ernährung erkrankten Tieren das Fettmark der Knochen durch rotes Mark ersetzt.

Intensives ultraviolettes Licht vermag aber bei direkter Einwirkung auch den Blutfarbstoff und die Blutzellen selbst zu verändern. Die eingehendsten Untersuchungen darüber stammen von Hasselbalch[4]). Er benutzte eine Quecksilberquarzlampe und ließ die von ihr gelieferten Strahlen durch Gläser gehen, so daß nur Strahlen von 310—220 $\mu\mu$ auf das Blut wirkten. Durch diese wurde nun das Oxyhämoglobin leicht in Methämoglobin verwandelt, das sich weiter in Hämatin zersetzte. Gleichgültig ist dabei, ob der Blutfarbstoff frei gelöst oder in den Blutzellen enthalten ist. Zu diesen Vorgängen ist die Gegenwart von Sauerstoff notwendig.

Zugleich kommt es bei Benutzung von Blut zu einer Hämolyse. Die Lösung der roten Blutzellen erfolgt jedoch sowohl bei Gegenwart wie bei Abwesenheit von Sauerstoff.

Auch die Senkungsgeschwindigkeit der Blutzellen scheint durch Belichtung mit kurzwelligen Strahlen verändert zu werden.

Der Gesamtstoffwechsel wird durch die chemisch wirksamen Strahlen unmittelbar nicht deutlich geändert. Aber Hasselbalch[5]) beobachtete, daß in den Tagen nach den Bestrahlungen mit Ausbildung des Lichterythems eine Steigerung des Sauerstoffverbrauches eintrat, die unbedeutend war und ca. 5% betrug.

Über weitere Wirkungen auf den Menschen wird später im Zusammenhange berichtet werden (vgl. B, 2.).

Hier muß jedoch auf einen Effekt der chemischen Strahlen eingegangen werden, der nicht direkt den Menschen betrifft, aber doch indirekt sich für ihn von erheblicher hygienischer Bedeutung erweist, das ist ihre bakterizide Kraft oder besser ihre desinfizierende Tätigkeit, da nicht nur Bakterien von ihr betroffen werden.

Die ersten Versuche darüber rühren von Downes und Blunt[6]) her. Sie konnten feststellen, daß Fäulnisbakterien schon durch diffuses Tageslicht, mehr noch durch Sonnenlicht in ihrer Entwicklung gehemmt werden und bei genügender Belichtung absterben.

---

[1]) Diesing, Das Licht als biologischer Faktor. 1909.
[2]) Bickel und Tasawa, Charitéanalen, Bd. XXXVII (1911).
[3]) Ishido, Biochem. Zschr. 137, 187 (1923).
[4]) K. A. Hasselbalch, Biochem. Zschr. 19 S. 435 (1909). Hier auch ältere Literatur.
[5]) Hasselbalch, Skand. Arch. f. Physiol. Bd. 19 S. 431 (1905).
[6]) Downes und Blunt, Proc. Royal soc. of London 1877 und 1878.

Diese Untersuchungen sind von den verschiedensten Seiten weitergeführt worden mit Reinkulturen von pathogenen und nichtpathogenen Keimen, auch mit den Toxinen der ersteren, und haben das Ergebnis von Downes und Blunt bestätigt. Auf die Einzelheiten braucht hier nicht eingegangen zu werden; erwähnt sei nur, daß, wie Dieudonné[1]) u. a. fanden, die kurzwelligen Sonnenstrahlen den wirksamsten Faktor darstellen, daß aber noch schneller ultraviolette Strahlen bakterientötend wirken (Bie[2]) u. a.). Dabei sind diese für sich allein wirksam, die weniger brechbaren jedoch werden durch Sauerstoff in ihrer Wirkung gefördert.

Von besonderem Interesse sind diejenigen Untersuchungen, die nicht Laboratoriumsversuche sind, vielmehr die desinfizierenden Wirkungen der Sonnenstrahlung unter den natürlichen Bedingungen ermittelten. Diese zeigten besonders eindringlich, welch ein mächtiges Mittel sie zur Schaffung eines gesunden Klimas — dieses im weitesten Sinne genommen — darstellen.

Es hat sich ergeben, daß Sonnenstrahlung imstande ist, mehr oder weniger schnell auf der Oberfläche des Bodens und der Kleider befindliche Bakterien abzutöten. — So kann der Straßenstaub durch starke Besonnung desinfiziert werden (Wittlin); tuberkulöses Sputum, das auf Leinen- und Wollgewebe eingetrocknet der Sonne ausgesetzt wurde, war nach 24—30 Stunden unfähig geworden, bei Verimpfung Tuberkulose hervorzurufen (Migneseo[2])).

Ebenso wurden Milzbrand-, Typhus- u. a. Bakterien, die an der Oberfläche von Bettzeug und Kleidern sich befanden, durch Besonnung abgetötet (Esmarch[3])).

Weit in die Tiefe der Stoffe dringt die desinfizierende Wirkung nicht vor, aber die Keimfreiheit auch nur der Oberfläche stellt schon einen wesentlichen Erfolg dar und vermag die Übertragung von infektiösen Keimen außerordentlich einzuschränken.

Anders liegt es mit der Wirkung der Sonnenstrahlung gegenüber dem Wasser. In diesem vermag sie bis in gewisse Tiefen ihre keimtötende Kraft zu entfalten. Das ist von Buchner[4]) und seiner Schule gezeigt worden. Die Zahl der Keime im Wasser der Flußläufe oder von Seen nimmt bei Belichtung ab, in der Dunkelheit zu; sie ist am größten am Morgen, am niedrigsten am Abend.

Die Belichtung bildet einen wesentlichen Faktor für die Selbstreinigung der Flüsse.

Die Tiefe, bis zu der eine Abtötung der Keime im Wasser erfolgt, ist von Buchner durch besondere Versuche ermittelt worden. Bei hellem Sonnenschein waren nach einem Aufenthalt von 4½ Stunden in 1,6 m Tiefe alle Keime abgetötet; in 2,6 m Tiefe wurden die Keime noch deutlich geschädigt, nicht mehr deutlich in 3,1 m. Danach würde also in einer Tiefe von etwa 2 m das Sonnenlicht noch desinfizierend wirken.

In Übereinstimmung hiermit wurde bei Untersuchung des Bakteriengehaltes des Meeres gefunden, daß sein Keimgehalt an der Oberfläche am geringsten ist und mit der Tiefe zunimmt. In tropischen Meeren waren — ruhiges Wasser vorausgesetzt — in 10 m Tiefe 1000mal mehr Keime enthalten als an der Oberfläche, am Nordpol in 10—25 m Tiefe 10mal mehr.

2. Weitere Wirkungen der klimatischen Wärmefaktoren.

Bisher wurden, wenn wir von der chemischen Strahlung absehen, ausschließlich diejenigen Wirkungen der Wärmefaktoren der Besprechung unterzogen, die für den

[1]) Dieudonné, Arbeiten aus dem Kaiserl. Gesundheitsamt Bd. 9, 1894.
[2]) Vgl. Bie, Die Anwendung des Lichtes in der Medizin. 1905.
[3]) Esmarch, Zschr. f. Hyg. Bd. 16, 1894.
[4]) Buchner, Arch. f. Hyg. 17 S. 179 (1893).

menschlichen Organismus als die wesentlichen betrachtet werden müssen, nämlich die die Wärmeverhältnisse des Körpers betreffenden.

Neben diesen werden aber mannigfache weitere ausgelöst, meist im Zusammenhang mit den ersteren. Sie erstrecken sich auf verschiedene Funktionen und sind zum Teil physiologisch bedeutungsvoll. Beeinflußt werden vornehmlich die Atmung, der Blutdruck, Beschaffenheit und Verteilung des Blutes und das Nervensystem.

a) Die **Atmung** wird durch die Temperaturverhältnisse der Umgebung und durch die Strahlungsenergie in ihrem Ablauf beeinflußt. Dies kann geschehen durch Wirkung auf das Atemzentrum selbst oder auf reflektorischem Wege von den Sinnesorganen der Haut oder auch vom Auge her. Der erstere Weg wird wirksam, wenn eine Wärmezufuhr zum Körper zustande kommt, die zu Temperaturänderungen des Körpers und damit des Blutes führt. Ein übernormal warmes Blut vermag das Atemzentrum zu häufigeren Atemzügen anzuregen und die Ventilationsgröße zu steigern, ein abgekühltes führt zu selteneren und immer flacher werdenden Atmungen.

So fand H. Winternitz[1]), daß das Atemvolumen, wenn die Körpertemperatur auf 38—39° durch heiße Wasserbäder erhöht war, fast bis zum Doppelten der Norm anstieg. Ebenso fand Salomon[2]) Steigerung der Lungenventilation mit Erhöhung der Atmungsfrequenz, wenn er die Körpertemperatur durch Heißluft- und elektrische Glühlichtbäder bis zu 39,5° erhöhte.

Daß auf reflektorischem Wege die Atemtätigkeit intensiv durch Wärme- und Kältereize geändert werden kann in bezug auf Häufigkeit, Tiefe, Umfang, ist bekannt. Erwähnt seien hier nur Versuche über den Einfluß des Windes auf die Atemgröße, die Wolpert[3]) beim Menschen ausführte. Führte der Wind zu Kältegefühl, so stieg die Atemgröße, wurde das Wärmegefühl nicht beeinflußt, so war auch die Atemgröße unverändert. Sie wurde wiederum gesteigert, wenn bei Temperaturen von gegen 30° und mehr der Wind als Kühlung und somit als Annehmlichkeit empfunden wurde.

Aber auch Lichtreize vermögen den Atmungsvorgang auf reflektorischem Wege zu beeinflussen, und zwar, wie es scheint, nicht nur kurzdauernde und heftige, sondern auch milde und dauernde.

Der erste wohl, der am Menschen eine Steigerung der Lungenventilation — von 6017 auf 6446 ccm pro Minute — fand, wenn er mit offenen anstatt mit verbundenen Augen atmete, war Speck[4]). Spätere Untersucher konnten eine sichere Steigerung des Atemvolumens nicht immer nachweisen, aber doch Änderungen in der Atemmechanik. Besonders eingehend beschäftigten sich hiermit Hasselbalch und Lindhard. Ersterer[5]) nahm Bestrahlungen mit Kohlenbogenlicht von 20 Minuten Dauer vor, die zu einem sich allmählich ausbildenden Erythem führten. Nach dessen Ausbildung fand er, daß die Respirationsfrequenz deutlich vermindert war und daß diese Frequenzabnahme das Erythem überdauern konnte. Daneben war die Atemtiefe gesteigert derart, daß die Wirkung der Frequenzabnahme für das Minutenvolumen ausgeglichen wurde.

Versuche über die Lichtwirkung im Höhenklima, die Hasselbalch und Lindhard[5])[6]) anstellten, ergaben ebenfalls eine Abnahme der Atemfrequenz

[1]) H. Winternitz, Klinisches Jahrbuch VII (1899).
[2]) H. Salomon, Zschr. f. physikal. u. diätet. Therap. V (1901).
[3]) R. Wolpert, Arch. f. Hyg. Bd. 43 S. 49 (1902).
[4]) C. Speck, Arch. f. exper. Path. XII (1879).
[5]) Hasselbalch, Skand. Arch. f. Physiol. 17 S. 431 (1905).
[6]) Hasselbalch und Lindhard, Skand. Arch. f. Physiol. Bd. 25 S. 361 (1911).

und die Zunahme der Atemtiefe. Dabei sank bei H. die alveolare Kohlensäurespannung. Auch waren Unterschiede in der Zunahme der Atmung auf den Kohlensäurereiz zu erkennen, wenn eine Belichtung stattgefunden hatte. Die Verfasser beziehen diese auf Änderungen in der Erregbarkeit des Atemzentrums, die durch das Licht erheblich gesteigert sein sollte.

Beobachtungen von Durig, v. Schrötter und Zuntz[1]) auf Teneriffa und von Durig und Zuntz[2]) in den Alpen zeigten kein gleichmäßiges Verhalten, so daß eine Gesetzmäßigkeit der Lichtwirkung im Sinne von Hasselbalch und Lindhard jedenfalls nicht besteht. Auch ist es fraglich, ob die gesteigerte Reaktion auf den Kohlensäurereiz, die durch Belichtung zustande kam, auf eine Erregbarkeitsänderung des Atemzentrums bezogen werden darf und nicht vielmehr durch die Summation verschiedener Reize erklärt werden soll. Immerhin sahen auch diese Forscher Abnahmen in der alveolaren Kohlensäurespannung, daneben Steigerungen in der Atemtiefe und Ventilationsgröße. Aber sie fanden individuelle Unterschiede, die wohl auf verschiedene Empfindlichkeit der Haut für Licht bezogen werden müssen.

Demgegenüber fand Lenkei[3]), wenigstens in bezug auf die Atemfrequenz bei Gebrauch von Sonnenbädern, ein ziemlich eindeutiges Ergebnis, das, wie bei den dänischen Forschern, in einer Frequenzabnahme bestand. In 95% seiner 78 Fälle sah er im Mittel eine Abnahme um 4 Atemzüge in der Minute.

Übrigens führen Hasselbalch und Lindhard auch ihre in den Höhenversuchen gefundenen Änderungen der Atmung auf das entstandene Lichterythem zurück.

In den Höhenversuchen mischt sich die Lichtwirkung mit der der verdünnten Luft. Rein kommt erstere zum Ausdruck in Versuchen, die Lindhard im Polarklima[4]) anstellte. Er verglich hier die Atmung während des lichtlosen Polarwinters mit dem dauernd erhellten Polarsommer und fand auch hier typische Unterschiede. Ebendieselben waren vorhanden, wenn er die Atmungsvorgänge während des lichtarmen Winters und des lichtreicheren Sommers an den gleichen Personen in Kopenhagen verglich[5]). Er fand so, daß — in Übereinstimmung mit den vorher besprochenen Versuchen — die alveolare Kohlensäurespannung im Sommer abnahm, ebenso auch die Frequenz sich verminderte, daß das Atemvolumen höher lag. Auch auf den Kohlensäurereiz sprach das Atemzentrum im Sommer mehr an als im Winter.

Das Licht beeinflußt also von der Haut aus reflektorisch die Atmung, am eindeutigsten in bezug auf die Atmungsfrequenz, im übrigen aber in verschiedener Weise in Abhängigkeit von Lichtstärke und -dauer, vom Umfang der bestrahlten Hautfläche und ihrer Fähigkeit die durch den Lichtreiz gesetzten Erregungen weiterzuleiten.

b) Daß das **Blut** in seiner Zusammensetzung und daß seine Verteilung im Körper durch das Licht beeinflußt werden müssen, ergibt sich aus der Fähigkeit des Lichtes, die Weite der Blutgefäße der Haut sehr stark zu verändern. Belichtung erweitert sie, im Dunkeln ziehen sie sich zusammen. Das bedeutet eine ganz verschiedene Verteilung des Blutes und mehr noch seiner Zellen im Blutgefäßsystem. Im Dunkeln wird die Haut anämisch, das Körperinnere muß hyperämisch werden. Die Hautkapillaren lassen weniger Blut und Zellen passieren, so daß bei einer Blutentnahme aus ihnen die Zahl der Erythrozyten herabgesetzt ist. Umgekehrt wird sie im Hautblute bei Belichtung gesteigert sein. Es handelt sich hier um Verände-

[1]) Durig, v. Schrötter, Zuntz, Biochem. Zschr. 39, 1912.
[2]) Durig und Zuntz, Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1904. Supplem. S. 417.
[3]) Lenkei, Zschr. f. physik.-diät. Ther. IX (1905).
[4]) Lindhard, Meddelelser von Grönland 44 S. 75 (1910).
[5]) Lindhard, Skand. Arch. f. Physiol. 26 S. 221 (1912).

rungen der Verteilung, und wenn bei kurzdauernden Belichtungen und Verdunklungen ein schneller Wechsel der Zellenzahl nachgewiesen werden kann, so ist dieser nur auf eine verschiedene Verteilung der Blutzellen auf die verschiedenen Gefäßprovinzen zu beziehen.

Lange dauernder Aufenthalt im Lichte oder in Dunkelheit scheint neben dauernd verschiedener Verteilung noch zu weiteren Veränderungen zu führen, die jedoch nicht ganz aufgeklärt sind. Die dauernde Verengerung der Hautblutgefäße im Dunkeln und die dadurch hervorgerufene Hautanämie führen zu der eigentümlich blassen und einen Stich ins Gelbgrüne zeigenden Hautfarbe, die Personen aufweisen, welche lange Zeit im Dunkel gelebt haben. Sie ist z. B. bei Polarfahrern beobachtet worden.

Die in den mannigfachen an Tieren und Menschen durchgeführten Versuchen über die Lichtwirkung auf das Blut gefundenen Tatsachen deuten darauf hin, daß das Licht auf die Beschaffenheit des Blutes noch durch andere Vorgänge verändernd wirkt. — Die Zahl der Blutzellen, der Hämoglobingehalt und auch die Blutmenge sind im Dunkeln geringer gefunden worden als nach intensiven Belichtungen von Grawitz[1]), Oerum[2]) und Bering[3]). Nach Oerum wirkte rotes Licht wie Dunkelheit, d. h. vermindernd auf Blutzellen und Blutmenge.

In der Auffassung unterscheiden sich diese Forscher jedoch insofern, als Grawitz eine nur relative Zunahme von Zellen und Hämoglobin annehmen möchte infolge von Eindickung des Blutes, die Grawitz am Blutserum festgestellt zu haben glaubte. Oerum und Bering dagegen sehen die Zunahmen — die Oerum besonders hoch nach Bestrahlungen mit blauem Lichte fand — als absolute an, glauben also, daß in der Gesamtmenge an Blut, an Zellen und an Blutrot Unterschiede bei Aufenthalt im Dunkeln gegenüber dem im Hellen bestehen.

Am Menschen hat Lenkei[4]) eine Zunahme der roten und der farblosen Zellen bei Gebrauch von Sonnenbädern festgestellt. Wieweit es sich um Änderung der Verteilung der Zellen in der Blutbahn durch Erweiterung der Hautgefäße oder um Bluteindickung infolge des abgegebenen Schweißes handelt, oder ob etwa Änderungen der absoluten Menge der Zellen mitspielen, läßt sich aus Lenkeis Versuchen nicht ableiten. In ihnen spielt neben der Licht- zugleich auch die Wärmewirkung mit.

Neuerdings fand Kestner[5]), daß der Wiederersatz des Blutes anämisch gemachter Hunde durch Belichtung (mit Bogenlampenlicht) sich schneller vollzieht, als durch Aufenthalt im luftverdünnten Raum, entsprechend 2300—2600 m Höhe. Dasselbe soll geschehen, wenn Hunde Luft, die aus der Nähe der strahlenden Lampe abgesaugt wurde, einatmeten, ohne selbst von den Strahlen getroffen zu werden. Kestner nimmt deshalb eine durch die Bogenlichtstrahlen veranlaßte Bildung von Stoffen an, die eingeatmet die Blutbildung anregen.

Diesen experimentellen Ergebnissen stehen solche entgegen, die unter natürlichen Bedingungen gewonnen sind. So erwähnt Schönenberger[6]), daß Pferde, die 10—24 Jahre in Bergwerken gearbeitet haben, ohne je ans Tageslicht gekommen zu sein, keine Zeichen von Anämie zeigen.

Gyllencreutz gibt an, daß die Mitglieder der Spitzbergen-Expedition von 1882/83 keine Abnahme der Hämoglobinmenge während der Polarnacht erfuhren,

---

1) Grawitz, Zschr. f. klin. Med. 21 (1892).
2) Oerum, Pflüg. Arch. 114 S. 1 (1906).
3) Fr. Bering, Medizin.-Naturwissenschaftl. Arch. 1907.
4) Lenkei, Zschr. f. physik. diät. Ther. 9.
5) O. Kestner, Zschr. f. Biol. 73 S. 1 (1921).
6) Schönenberger, Der Einfluß des Lichtes auf den tier. Organismus. Inaug.-Dissert. Berlin 1898. S. 131.

und auch auf Nansens Expedition zum Nordpol waren Blutveränderungen nicht festzustellen.

Die Hämolyse durch ultraviolettes Licht und die Umwandlung des Oxyhämoglobins in Methämoglobin ist bereits im vorangehenden Abschnitt (S. 39) besprochen worden, ebenso die Steigerung der Photoaktivität des Blutes durch Licht.

Bestrahlung mit Sonnenlicht[1]) und Quarzlampenlicht führten in Versuchen von Frenkel-Tissot, die im Hochgebirge angestellt wurden, zu Änderungen des Blutzuckergehaltes. — Ursprünglich hohe Werte zeigten eine Tendenz zum Sinken, abnorm niedrige und normale eine zum Anstieg. Die ultraviolette Componente des benutzten Lichtes dürfte der auslösende Faktor sein. —

Eine Beeinflussung erfährt die Beschaffenheit des Blutes auch durch die Temperaturverhältnisse des Klimas. Diese vermögen ebenso wie das Licht eine Änderung der Blutverteilung über die verschiedenen Gefäßprovinzen hervorzurufen. Wie intensiv das geschehen kann, geht besonders aus Versuchen hervor, die A. Loewy, J. Loewy und L. Zuntz[2]) im Höhenklima an sich anstellten. Nicht sehr langer Aufenthalt auf dem Gletscher einerseits, in der erwärmten Hütte andererseits führte zu einer Schwankung der Zellenzahl, die 1 Million und mehr betragen konnte. —

Hohe Wärme- und Kältegrade führen zu Änderungen des Blutdruckes, und zwar zu Verminderung in der Wärme, Steigerung in der Kälte und, wenn sie lange einwirken, sekundär zu Änderungen des Wassergehaltes des Blutes. Die Blutdrucksteigerung in der Kälte vermag zu gesteigertem Wasserübertritt in die Gewebe durch den erhöhten Filtrationsdruck zu führen, die Blutdrucksenkung in der Wärme zu verminderter Wasserabgabe aus dem Blute. Andererseits muß es in der Wärme zu einer Bluteindickung kommen, wenn sie zu erheblicher Schweißbildung zu führen vermag.

Es vereinigen sich also zahlreiche Vorgänge, so daß eine Untersuchung des Gesamtblutes nicht imstande ist, genügenden Aufschluß über die Vorgänge zu geben, die im Einzelfalle das Verhalten des Blutes ändern, und keinerlei Deutung zuläßt über die Ursachen der Änderungen, die an den Blutzellen und am Hämoglobingehalt beobachtet werden.

Stets, so von Winternitz, Knöpfelmacher, Grawitz, Breitenstein, Loewy, ist beim Aufenthalt in der Wärme eine Abnahme der Blutzellenzahl, eine Verminderung der Blutdichte und des Trockenrückstandes gefunden worden. Dabei war das Blutserum bei kurzem Aufenthalt normal, bei langem war seine Konzentration erhöht[3]). In der Kälte wurden umgekehrt eine Steigerung der Zellenzahl und Vermehrung des Trockenrückstandes am Gesamtblut gefunden. — Daraus geht hervor, daß bei längerer Einwirkung von differenten Wärmegraden neben der Verschiebung der zelligen Elemente eine Änderung im Wassergehalt des Blutes stattgefunden hat, entsprechend den vorher mitgeteilten Überlegungen.

Wie die von Frenkel-Tissot (a. a. O.) gefundene Hyperglykämie zu deuten ist, die er nach Glühlichtbädern, die zu Hyperthermie führten, feststellte, ob durch zustande gekommene Eindickung des Blutes oder durch chemische Veränderungen desselben, ist noch unsicher.

Aber der Organismus verfügt über Einrichtungen, um bei dauerndem Aufenthalt in einem heißen oder kalten Klima alle diese Wirkungen wieder auszugleichen,

[1]) H. B. Frenkel-Tissot, D. Arch. f. klin. Med. 133, 286 (1920).
[2]) A. Loewy, J. Loewy und L. Zuntz, Pflüg. Arch. Bd. 66 S. 477 (1896).
[3]) Vgl. A. Loewy, B. kl. W. 1896 Nr. 41. Hier Literaturangaben.

so daß die Zusammensetzung des Blutes in allen Klimaten gleich gefunden worden ist.

c) Was lange Zeit, vielleicht dauernd, verschieden bleibt, ist dagegen der **Blutdruck.**

Durch verschiedene Klimafaktoren kann er geändert werden: durch Temperatureinflüsse, durch die Luftfeuchtigkeit, durch die Strahlungsverhältnisse.

Daß hohe Außentemperaturen ihn herabsetzen, tiefe ihn steigern, ist aus ihrer Wirkung auf die Blutgefäße der Haut ohne weiteres verständlich. Die Luftfeuchtigkeit wird wirksam dadurch, daß sie, wie früher S. 22 besprochen, die Wärmeabgabe von der Haut durch Verdunstung herabsetzt. Die dadurch veranlaßte Wärmesparung ist es wohl, die dazu führt, daß die Hautblutgefäße in feuchter Luft sich erweitern, und es so zu einem Sinken des Blutdruckes kommt.

Ebenso führt Bestrahlung zur Blutdrucksenkung. An einem größeren Material zeigte dies Lenkei[1]) für Sonnenbäder. Er fand nie eine Steigerung desselben, wohl aber in der Mehrzahl der Fälle — in 37 — eine Senkung.

Hasselbalch[2]) fand dasselbe bei Bestrahlung mit Kohlenbogenlicht. Bei seinen sämtlichen — sechs — Versuchspersonen nahm der Blutdruck um 2,3—11,5%, im Mittel um 8,2% ab. Dabei überdauerte diese Wirkung die Bestrahlungen lange Zeit, soweit beobachtet 2—4 Wochen, und bestand auch noch, nachdem das durch sie hervorgerufene Erythem geschwunden war. Ebenso sah auch Kestner[3]) Blutdrucksenkungen bei Bogenlichtbestrahlungen.

Auch unter den direkten Verhältnissen des Klimas ist der Blutdruck häufig bestimmt worden. So im Tropenklima von Plehn[4]). Er fand an dort lebenden Europäern eine Verminderung um 7,5 mm, die sich auch bei längerem Aufenthalt nicht wieder bis zu den in Europa gefundenen Werten ausglich (Näheres vgl. im Kapitel „Tropenklima").

Im Wüstenklima haben Schieffer[5]) sowie Bickel, Loewy, Wohlgemuth, Schweitzer[6]) ihn ermittelt (vgl. Kapitel „Wüstenklima"). Sie fanden ihn auch hier erniedrigt gegenüber den in Europa gefundenen Werten. Nach Schieffer soll er auch bei den Eingeborenen niedriger liegen, als er im gemäßigten Klima gefunden wird.

Auch am Meeresstrande (Nordsee) ist ein Hinabgehen des Blutdruckes unter die im Kontinentalklima vorhandenen Werte von Loewy, Fr. Müller, Cronheim und Bornstein[7]) festgestellt und von vielen Seiten bestätigt worden. Dabei waren entweder der systolische Wert oder der diastolische allein herabgesetzt, oder aber beide. Am stärksten äußerte sich die Wirkung auf den systolischen Wert.

Intensiv war die Wirkung im Luftbade am Seestrande, d. h. wenn der Körper sich nackt der Atmosphäre aussetzte. 10—20 Minuten nach Beginn des Bades war die Blutdrucksenkung festzustellen und sie überdauerte es mehr oder minder lange. Unter den von Loewy und Genossen untersuchten 11 Personen befand sich eine

---

[1]) Lenkei, Zschr. f. physik. diät. Ther. IX, 1905.

[2]) Hasselbalch, Skand. Arch. f. Physiol. 17 S. 431 (1905).

[3]) O. Kestner, Zschr. f. Biol. 73 S. 7 (1921).

[4]) Plehn, Die Kamerunküste. Berlin 1879.

[5]) Schieffer, Verhandl. d. Kongr. f. innere Med. 28 S. 597 (1911).

[6]) Wohlgemuth, Biochem. Zschr. 79 (1917).

[7]) A. Loewy, Fr. Müller, W. Cronheim, A. Bornstein, Zschr. f. exper. Path. u. Ther. Bd. 7 (1910).

Anzahl älterer Personen. Nur bei einer lag an der See der Blutdruck um einige Millimeter höher als im Binnenlande.

Die Blutdruckherabsetzung an der Nordsee ist zunächst etwas überraschend, da das Nordseeklima während der Versuche Faktoren enthielt, die einer Blutdrucksteigerung günstig sein mußten, nämlich niedrige Temperatur und Winde. Trotzdem kam es zu einer mehr oder minder ausgesprochenen Hautrötung, die zur Herabsetzung der Widerstände im arteriellen Gefäßgebiete führte.

Nach Kestner[1]) soll es sich bei Bestrahlung mit Kohlenbogenlicht um eine chemische Wirkung, veranlaßt durch Stoffe, die bei der elektrischen Verbrennung der Kohle entstehen, handeln. Bei Hunden und auch bei Menschen, die die von der strahlenden Bogenlampe abgeleitete Luft einatmeten, kam es gleichfalls zu Blutdrucksenkung, die die Einatmung mehr oder weniger lange Zeit (30 Minuten und mehr) überdauerte. Nach weiteren Untersuchungen Kestners soll das sich bildende Stickoxydul der wirksame Faktor sein.

d) Von Lindhard[2]) ist auch das Verhalten des **Blutumlaufes** am Menschen unter Bogenlichtbestrahlung ermittelt worden. Er fand, daß durch einstündige Bestrahlung die vom Herzen in der Minute ausgeworfene Blutmenge, das Minutenvolumen, gesteigert war, und zwar 2—3 Tage lang, ohne daß dabei der Stoffumsatz gesteigert blieb.

Nun ist zwar eine Steigerung des Stoffumsatzes die gewöhnlichste Ursache für eine Beschleunigung des Blutumlaufes, aber gerade die schon besprochenen Wirkungen des Klimas sind imstande, sekundär auch auf die Schnelligkeit des Blutstromes zu wirken. Kommt es unter Klimaeinflüssen zu einer starken Erweiterung der Hautgefäße, so tritt ein mehr oder weniger großer Teil des Blutes, das vorher die inneren Organe durchströmte, in erstere ein, die inneren Organe verarmen an Blut, und zur Aufrechterhaltung ihrer genügenden Versorgung mit Blut muß unter Umständen der Blutstrom beschleunigt werden. Das bedeutet aber eine Steigerung der Herzarbeit, die auf diese Weise indirekt durch die Klimareize veranlaßt wird.

Andererseits kann es zu einer Steigerung der Herzarbeit auch durch den umgekehrten Mechanismus, durch sehr starke Verengerung der Hautgefäße, kommen und zwar dadurch, daß diese zu einer beträchtlichen Erhöhung des Blutdruckes führt. —

Daß die thermischen Klimafaktoren den Kapillarkreislauf beeinflussen müssen, ist auf Grund ihrer vasomotorischen Wirkungen selbstverständlich, und wird durch in den vorangehenden Abschnitten mitgeteilte Tatsachen erwiesen. Wie er sich unter Wärme- und Kälteeinflüssen gestaltet, ergibt sich aus Versuchen von Finsterwald[3]). Dieser untersuchte die Kapillarströmung in der menschlichen Haut mittels der Weißschen Mikrokapillarbeobachtungsmethode. Er fand nach Erwärmung der untersuchten Körperteile (Hände) eine schnelle und homogene, nach Abkühlung eine langsame und körnige Strömung in den Hautkapillaren.

e) Zum Schlusse sei noch die **Beeinflussung des Nervensystems** durch die Klimafaktoren kurz besprochen.

Daß diese auf eine Reihe von lebenswichtigen Zentren in erregendem und lähmendem Sinne einwirken, ergibt sich aus den bisher mitgeteilten Tatsachen von selbst. Alle Vorgänge, die sich auf die Wärmeregelung des Körpers beziehen, gehen über das Zentralnervensystem: die die physikalische Regelung betreffenden über die

[1]) O. Kestner, Zschr. f. Biol. Bd. 73, S. 7 (1921).
[2]) J. Lindhard, Skand. Arch. f. Physiol. 30 S. 73 (1913).
[3]) H. Finsterwald, Beitr. z. Klinik d. Tuberk. 54, 239 (1923).

vasomotorischen und Schweißzentren, die die chemische berührenden über die Wärmezentren. Die Änderungen der Atmung und der Pulsfrequenz, die unter der Wirkung der klimatischen Wärmefaktoren beobachtet werden, erfolgen unter Tätigkeitsänderung der dafür maßgebenden Bezirke des Zentralnervensystems.

Aber das Nervensystem wird noch in weiterem Maße betroffen durch die von der Haut und den höheren Sinnesorganen her ihm übermittelten Erregungen, die durch die Klimareize ausgelöst werden. Diese Erregungen folgen dem allgemeinen Gesetze, daß sie die Funktionen steigern, wenn sie mäßig, daß sie sie lähmen, wenn sie übertrieben sind. So ist es z. B. beim Kältereiz, so auch beim Lichtreiz (Schneeblindheit).

Vereinzelt sind dabei Beobachtungen gemacht worden, für die eine Erklärung noch aussteht und die auch nicht gleichsinnig lauten. So soll nach Frankenhäuser[1]) strahlende Wärme auf die sensiblen Endigungen der Hautnerven reflexerregend wirken, was er mit der Erwärmung der Haut in Beziehung bringen möchte; nach Bernhard[2]) soll Sonnenbestrahlung eine analgetische Wirkung haben.

Die schmerzstillende Wirkung der Wärme, feuchter noch mehr als trockener, ist bekannt.

Die sensiblen bzw. sensorischen Erregungen werden uns bewußt, und dadurch werden wir in den Stand gesetzt, das Klima zu empfinden. Diese klimatische Empfindung befähigt uns zu einem Urteil über seine Wirkung, und mehrfach hat man versucht, das subjektive Empfinden zum Maßstab für die Einteilung der Klimate zu machen. Mit der Klimaempfindung gehen parallel die körperlichen Vorgänge, die reflektorisch den Körper vor Schädigungen seiner Funktionen durch klimatische Einflüsse schützen; und die Klimaempfindung ist es, die uns zu willkürlichen Maßnahmen zu unserem Schutze veranlaßt.

Darüber wird in einem der folgenden Abschnitte eingehender gesprochen werden (vgl. D 1).

Das Urteil über das Verhalten des Klimas wird aber nicht nur von den körperlichen Beeinflussungen abgeleitet, die es hervorruft, sondern auch von den uns über unsere höheren Sinne, besonders das Auge, zukommenden Eindrücken. Durch diese vermag das Klima auf unsere seelischen Vorgänge zu wirken, besonders auf das Verhalten unseres Gemütes, auf unsere Stimmung. Auch dies wird später noch weiter ausgeführt werden.

Auch die willkürliche Innervation der Muskeln kann durch klimatische Einflüsse geändert werden.

So berichten Lehmann und Pedersen[3]) von Beobachtungen, aus denen hervorzugehen scheint, daß die chemischen Strahlen des Sonnenlichtes die Muskelkraft zu steigern vermögen, und zwar zunehmend mit der Stärke der Strahlung. Sie führen hierauf die Zunahme der Muskelkraft, die sich im Frühjahre einstellt, zurück.

Ebenso berichtet Schweitzer[4]), daß die Arbeitskraft — gemessen durch die willkürliche Maximalleistung am Ergographen — bei Neuankömmlingen im Wüstenklima Ägyptens allmählich zunahm (vgl. Kapitel „Wüstenklima"). Inwieweit für diesen Erfolg die atmosphärischen Faktoren des Klimas, inwieweit die

---

[1]) Frankenhäuser, Zschr. f. physik. u. diät. Ther. 7, 7 (1904).
[2]) Bernhard, Heliotherapie. Stuttgart 1912. S. 12.
[3]) Lehmann und Pedersen, Das Wetter und unsere Arbeit. 1907.
[4]) E. Schweitzer, B. kl. W. 5 (1921).

landschaftlichen Eindrücke und die dadurch bewirkten Veränderungen des seelischen Verhaltens — die gehobene Stimmung — maßgebend sind, ist noch unsicher.

Umgekehrt fand Schweitzer, daß hohe Luftfeuchtigkeit neben hoher Temperatur, wie sie im Dampfbade vorhanden sind, die willkürliche Leistungsfähigkeit herabdrückt.

Diese Beeinträchtigung der Muskelleistung durch hohe Temperaturen, verbunden mit hoher Luftfeuchtigkeit, ist schon von Lombard[1]) früher behauptet worden.

Auch die Luftverdünnung führt, wenn sie Sauerstoffmangel hervorruft, zu einer Herabsetzung der Arbeitsfähigkeit der Muskeln. Hierüber wird Näheres im Kapitel „Höhenklima" mitgeteilt werden.

Mit dem seelischen Verhalten in naher Berührung steht der Schlaf. Er kann durch klimatische Einflüsse gefördert, er kann gestört werden. Alles, was erregend wirkt, d. h. was unsere Funktionen steigert: unsere Gefühlsempfindungen, unsere Gesichts- oder Gehörswahrnehmungen, unsere Muskeltätigkeit, stört den Schlaf; was uns beruhigt, die Tätigkeit unserer Organe einschränkt, fördert ihn. So beeinträchtigen ihn Kälte, die zu reflektorischen Muskelbewegungen führt, grelles Licht, starke Luftbewegungen.

Sehr trockene Luft und stark erniedrigter Luftdruck führen zu Schlaflosigkeit, feuchte Luft und hoher Luftdruck zu ruhigem Schlafe.

Über die Sonnenstrahlung lauten die Mitteilungen verschieden. Lenkei[2]) gibt an, daß Müdigkeit und Schlafbedürfnis sich nach den ersten Sonnenbädern einstellen; Hasselbalch[3]) dagegen sah nach „künstlichen Sonnenbädern" mit Kohlenbogenlicht an sich selbst gesteigerte Lebhaftigkeit und Abnahme des Schlafbedürfnisses, so daß an den Tagen der Lichtbäder die abendliche Müdigkeit sich nicht zur gewohnten Zeit einstellte, und er nach 6 Stunden Schlaf vollkommen ausgeruht war, während er gewöhnlich 8 Stunden brauchte. —

Erwähnt seien hier die Bestrebungen, das gesamte körperliche Verhalten des Menschen, die Bildung der Menschenrassen auf eine Dauerwirkung des Klimas zurückzuführen. Desor bringt die Hagerkeit der Nordamerikaner mit der geringen relativen Feuchtigkeit ihres Klimas in Verbindung, und auch Nachtigal weist im Zusammenhang mit der verschiedenen Luftfeuchtigkeit auf die körperlichen Unterschiede hin, die bei den Bewohnern der trockenen Wüste und des feuchten Sudans bestehen[4]).

Wie weit sich der Einfluß des Klimas auf die Ausbildung der Rassenmerkmale erstreckt, darüber besteht noch keine Einigkeit.

3. Die Wirkung extremer Wärmeverhältnisse des Klimas.

Die in den vorstehenden Abschnitten mitgeteilten Tatsachen lassen erkennen, daß der Mensch befähigt ist, innerhalb eines nicht engen Bereiches der äußeren Wärmefaktoren seine Lebensprozesse normal zu erhalten. Dieser Bereich ist allerdings, wenn nur die unwillkürlichen Regelungseinrichtungen, die dem Menschen verliehen sind, in Tätigkeit treten, enger, als gemeinhin angenommen wird. Er dehnt sich aber erheblich aus, wenn gegen Kälte, gegen die der Mensch, wie alle tierischen Lebewesen, sich besser schützen kann, als gegen Wärme, willkürliche Schutzmaßnahmen getroffen werden, sei es dadurch, daß die Wärmebildung durch Muskeltätigkeit gesteigert wird, oder dadurch, daß geeigneter Kleiderschutz zu Hilfe genommen wird.

---

[1]) Lombard, Amer. Journ. of Physiol. 1890.
[2]) Lenkei, Zschr. f. physik. u. diät. Ther. 9 u. 11.
[3]) Hasselbalch, Skand. Arch. f. Physiol. 17 S. 431 (1905).
[4]) Nach Hann, Klimatologie Bd. I S. 50—51.

Durch letzteren vermag er Temperaturunterschiede, die 100° C überschreiten, zu ertragen, ohne daß seine Funktionen geschädigt werden. Ein nackter, ruhender Mensch dagegen erhält nur innerhalb einer Umgebungstemperatur von etwa 25° bis 37° C seine Körpertemperatur konstant, als Zeichen des Zureichens seiner physiologischen wärmeregelnden Vorgänge.

Wird die Grenze ihrer Wirksamkeit überschritten, so beginnt seine Körpertemperatur sich zu ändern, und damit setzen krankhafte Prozesse ein, die schließlich nach der einen Richtung zur Erfrierung, nach der anderen zum Symptomenbilde des Hitzschlages führen. Beide Endeffekte treten ein, nachdem die Körpertemperatur nach unten oder oben sich in bestimmten Grenzen geändert hat. Dabei ist die Abweichung von der Normaltemperatur nach unten erheblich weiter als die nach oben, bevor dem Leben ein Ziel gesetzt wird.

Die untere Grenze der Körpertemperatur, bei der noch eine Erholung möglich ist, scheint beim Menschen und den warmblütigen Tieren ziemlich gleich zu sein. Bei letzteren liegt sie bei 24—26° C nach Rosenthals[1]) Versuchen. Ebenso werden von Peter, Bourneville, Reinke, Nicolaysen[2]) Fälle von betrunkenen Menschen berichtet, die lange kalter Luft (oder kaltem Wasser) ausgesetzt waren — wobei ihre Temperatur auf 26°, 24°, 24,7° fiel, von Janssen[3]) ein Fall, in dem sie auf 22,5° gesunken war — wonach bei Wiedererwärmung Wiederherstellung eintrat.

Bei einem Affen (Macacus rhesus) hat Simpson[4]) eine Abkühlung bis auf 14° vornehmen können und, nachdem das Tier in eine Temperatur von 42° gebracht worden war, im Laufe von 5 Stunden Wiedererholung gesehen.

Die Erscheinungen, die dabei beobachtet werden, sind bei Tier und Mensch wiederum ganz ähnlich. Es handelt sich um Schädigungen der Funktionen des Zentralnervensystems. Ihre Intensität nimmt mit dem Sinken der Temperatur des Protoplasmas mehr und mehr ab bis zum endlichen Erlöschen. Nicht alle Teile werden bei gleichem Grade der Abkühlung in gleicher Weise befallen. Zuerst leidet die Tätigkeit des Großhirns und hier, wie es scheint, in erster Linie die von ihm abhängige Fähigkeit der Wärmeregelung, derart, daß die zu Spannungen und Zitterbewegungen führenden reflektorischen Muskelerregungen nur unvollkommen ausgelöst werden. Sodann zeigt sich die Koordination der willkürlichen Bewegungen gestört, und weiterhin können durch lähmungsartige Schwäche die Muskeln nur schwach oder nicht mehr in Tätigkeit gesetzt werden. Zugleich wird das psychische Verhalten beeinträchtigt; das Bewußtsein wird getrübt und schwindet allmählich, die Reaktionen auf optische und akustische Reize fallen aus, weiter auch die auf sensible Erregungen. Endlich werden auch die lebenswichtigen Zentren der Medulla oblongata getroffen.

Die Atmung verlangsamt und verflacht sich mehr und mehr, auch der Herzschlag wird seltener und schwächer, so daß der Puls unfühlbar wird. Es entsteht ein Zustand von den Tod vortäuschendem Scheintod, der schon zu schwerwiegenden Irrtümern hinsichtlich der Feststellung noch vorhandenen Lebens geführt hat.

Trotzdem gelang, obwohl keinerlei Zeichen des Lebens festgestellt werden konnten, Wiederherstellung, wohl weil noch eine unmerkbar schwache Herztätigkeit bestand und der Blutkreislauf noch aufrechterhalten wurde.

Mit der Abkühlung des Körpers ändert sich sein Stoffumsatz. Am

---

[1]) J. Rosenthal, Zur Kenntnis der Wärmeregulierung bei den warmblütigen Tieren. Erlangen 1872.

[2]) Zitiert nach Rosenthal, Hermanns Handb. d. Physiol. IV, 2. Leipzig 1882. S. 333.

[3]) Janssen, D. Arch. f. klin. M. 53 S. 249 (1894).

[4]) Simpson, Journ. of physiol. 28 (1902) und 32 (1905).

Menschen liegen darüber keine systematischen Beobachtungen vor, aber am Hund und Kaninchen sind diese Stoffwechseländerungen vielfach studiert worden[1]). Dabei ergab sich, daß zunächst eine Steigerung des Umsatzes eintritt, die Pflüger am Kaninchen, Quinquaud am Hunde feststellten. Dieser Versuch der Wärmeregulierung durch Erhöhung der Verbrennungsprozesse besteht, bis die Körpertemperatur um etwa 10—12°, nämlich bis auf 26°, gesunken ist. Dann wird der Umfang der Oxydationsprozesse fortschreitend geringer.

Wird die chemische Wärmeregulierung, z. B. durch Kuraresierung, ausgeschaltet, so sind die Ergebnisse ganz andere. Dann verhält sich der warmblütige Organismus wie in der Norm der kaltblütige: parallel dem Sinken der Eigenwärme nimmt von vornherein der Umsatz ab. Die Abnahme beträgt für jeden Grad Körpertemperaturerniedrigung etwa 5% beim Kaninchen, 7% beim Hunde. Nach Versuchen von Abderhalden und Wertheimer[2]) scheint sich der Stoffwechsel beim anaphylaktischen Temperatursturz ebenso zu verhalten. Eine anfängliche Steigerung des Umsatzes beim Sinken der Körpertemperatur läßt sich aus den Ergebnissen der Autoren nicht entnehmen.

Beim Menschen, der keine chemische Wärmeregulation im Sinne der bei den Säugern besitzt, wird wohl, sobald die reflektorischen Muskelbewegungen, die zunächst durch die Kälte angeregt werden, erlöschen, der Stoffwechsel abzusinken beginnen, wie bei den durch Kurare gelähmten Tieren. Daß er bei Erfrierenden sehr gering ist, muß daraus geschlossen werden, daß trotz minimaler Atemtätigkeit und damit minimaler Sauerstoffzufuhr das Leben, allerdings in Form einer vita minima, noch lange Zeit bestehen kann.

Als Folgen klimatischer Einflüsse spielen Erfrierungen eine geringe Rolle, weil und solange der extremen Kältegraden ausgesetzte Mensch in der Lage ist, zweckmäßig dagegen anzukämpfen. Welche Bedeutung als Abwehrmittel dabei der Steigerung der Wärmebildung durch intensive Muskeltätigkeit zukommt, ergibt sich daraus, daß Erfrierungen gewöhnlich an schlafenden, also absolut ruhenden Menschen zustandekommen.

Ganz anders liegt es mit den Folgen, die übermäßig hohe Umgebungstemperaturen mit sich bringen. Dagegen gibt es zwar auch einen willkürlichen Schutz, der im Entblößen des Körpers und in absoluter Körperruhe besteht, aber beide Maßnahmen kommen für die gewöhnlichen Lebensverhältnisse und die Anforderungen, die sie stellen, nicht gut in Betracht.

Ihre Wirkung in wärmeregulatorischer Hinsicht scheint im allgemeinen unterschätzt zu werden, wenn sie auch an den Effekt der als Kälteschutz dienenden Maßnahmen nicht heranreicht.

Daß Körperruhe und die verringerte Wärmebildung, die mit ihr verknüpft ist, einen Schutz vor den Folgen der hohen Lufttemperaturen bieten, gibt sich schon darin kund, daß Überhitzungen fast nie bei ruhenden, sondern fast nur bei Muskelarbeit leistenden Menschen beobachtet werden. Das ist so in unserem gemäßigten Klima, wie auch im Tropenklima (vgl. daselbst).

Auf die Bedeutung der Entblößung des Körpers für das Ertragen hoher Temperaturen ist hingewiesen worden im Zusammenhang mit der Tatsache, daß die fast nackt gehenden Eingeborenen der warmen Länder schwere körperliche Arbeit ertragen, während Europäer, insbesondere ist das der Fall bei Marinesoldaten und

[1]) Zusammenfassung bei Loewy, Handb. d. Biochem. 2. Aufl. VI A. S. 208ff. Jena 1923.
[2]) E. Abderhalden und E. Wertheimer, Pflüg. Arch. 195 u. 196 (1922).

Matrosen, häufig an Hitzschlägen leiden, die zuweilen in fast epidemischer Form auftreten. Hier spielen jedoch wohl auch Rasseneigentümlichkeiten eine Rolle, so die Hautpigmentierung der Eingeborenen, worauf im Kapitel „Tropenklima" näher eingegangen werden wird.

Daß allerdings die Körperentblößung wärmeregulatorisch immerhin von Wert ist, zeigen die Beobachtungen von Stapff[1]). Gelegentlich der Erbauung des Gotthardtunnels stellte er an sich selbst fest, daß sein Befinden in der 31° C warmen, mit Wasserdampf gesättigten Tunnelluft durch Ablegen der Kleider erheblich gebessert wurde*).

Immerhin ist es weit schwerer, ein Steigen der Körpertemperatur zu verhindern, als ein Sinken, und Lebensgefahr bzw. der Tod treten ein, schon wenn der Anstieg der Körpertemperatur weit geringer ist, als im entgegengesetzten Falle ihre Abnahme.

Nach den in den voraufgehenden Abschnitten mitgeteilten Erfahrungen ist es klar, daß nicht nur die Temperaturhöhe von Einfluß ist auf die Gefahr der Überhitzung, sondern auch wesentlich der Feuchtigkeitsgehalt.

Über die Fähigkeit trockene, heiße Luft zu ertragen, liegt eine größere Zahl älterer Beobachtungen vor, die Rosenthal in Hermanns Handbuch der Physiologie zusammengestellt hat. So vermochten es drei junge Mädchen 5—10 Minuten in einem Backofen bei 130° C auszuhalten, fünf englische Forscher 10 Minuten in 92,22°; der eine von ihnen 7 Minuten bei 99,44°, der zweite 8 Minuten lang bei 127,7°, 12 Minuten lang bei 110°. Dabei war ihre Temperatur — unter der Zunge gemessen — nicht über 37,8° hinaus erhöht. Gestiegen war sie bei einer von den gleichen Forschern beobachteten Person auf 38.61°, die sich 20 Minuten bei 98,8° aufgehalten hatte, und bei einer anderen auf 38,9° nach einem Aufenthalt in 106,4° für 10 Minuten.

Dagegen war in einem Zimmer, das mittels Ofen und kochenden Wassers geheizt wurde, dessen Luft also feucht war, ein Verbleiben nur für 20 Minuten bei 48,9°, und nur für 15 Minuten bei einer allmählich von 40,3 auf 54,4° steigenden Temperatur möglich.

Spätere Versuche von Delaroche und Berger[2]) aus dem Beginn des 19. Jahrhunderts ergaben das gleiche. In trockener Luft hielt es Berger für 7 Minuten bei 109,5° aus; im Dampfbade nur 12 Minuten, während dessen Temperatur von 41,25 auf 53,75° stieg. Ebenso konnte es Delaroche im Dampfbade von 37,5—51,25° nur 10½ Minuten aushalten.

Temperaturmessungen im Munde ergaben, daß sie bei Berger, nach Aufenthalt in trockener Luft von 80° für wenige Minuten, um 5° gestiegen war, im Dampfbade von 37,5—48,75° um 3,1°, in einem von nur 40—41,25° in 15 Minuten um 1,87°.

In allen diesen Fällen handelte es sich um relative Körperruhe. Trotzdem finden sich schon hier erhebliche Steigerungen der Körpertemperatur, die in den Dampfbädern, trotzdem deren Temperaturen weit hinter den in den Räumen mit trockener Luft herrschenden zurückblieben, den in letzteren beobachteten nahekamen.

Gefahrdrohend werden die Wirkungen hoher Temperaturen, wenn man in ihnen körperliche Arbeit leistet, zumal in dichter Bekleidung. Dann steigt die Körpertemperatur durch das Zusammenwirken von vermehrter Wärmebildung und er-

---

[1]) Stapff, Arch. f. (Anat. u.) Physiol. Supplem. 1879 S. 72.

*) Anm.: Auf die von Plaut und Wilbrand gemachte Annahme einer unter das normale Minimum hinabgehenden Einschränkung des Stoffwechsels als Regulationsmittel gegen Überwärmung ist bereits S. 13 hingewiesen worden.

[2]) Zitiert nach Rosenthal, Hermanns Handbuch IV, 2 S. 337.

schwerter Wärmeabgabe bis zu Graden an, die zu dem Bilde des Hitzschlages[1]) und häufig zu tödlichem Ausgange führen.

Daß Muskelarbeit und in Gemeinschaft damit eine unzweckmäßige, zu Wärmestauung führende Kleidung es sind, die in unserem gemäßigten Klima am Zustandekommen von Hitzschlägen ursächlich beteiligt sind, geht daraus hervor, daß diese bei uns nur bei marschierenden Soldaten beobachtet wurden, die auch im Hochsommer mit dickem Tuchrock bekleidet waren, nie in der zwar auch körperlich schwer arbeitenden, aber, den klimatischen Verhältnissen entsprechend, bei der Arbeit leicht oder nur teilweise bekleideten Zivilbevölkerung. Die für die Konstanterhaltung der Körpertemperatur ungünstigen Verhältnisse der Wärmeerzeugung und Wärmeabgabe bringen es mit sich, daß dabei Hitzschläge schon unter solchen atmosphärischen Bedingungen auftreten, die an sich durchaus nicht geeignet sind, sie hervorzurufen. So stellt Jacubasch (a. a. O.) 17 Fälle von Hitzschlag zusammen, die bei einer Lufttemperatur von nur 24,0—28,0° C zustandekamen. Die Luft wurde dabei häufig als schwül empfunden; einmal wurde ihre relative Feuchtigkeit zu 72% bestimmt.

In einem von Hiller mitgeteilten Falle traten die Zeichen beginnenden Hitzschlages an Soldaten auf, die bei nur 18,75° C Luftwärme aber zugleich mit 86% relativer Feuchtigkeit marschiert waren.

Natürlich ist eine hohe Luftfeuchtigkeit besonders gefährlich, wenn zugleich die Lufttemperaturen sehr hoch sind. v. Luschan berichtet aus Kurdistan von griechischen Zimmerleuten und Steinmetzen[2]). Bei 50° C und 60—65% relativer Feuchtigkeit vermochten sie noch zu arbeiten, jedoch nur halb soviel, wie die zugleich mit ihnen beschäftigten Eingeborenen. Sobald aber die Luftfeuchtigkeit stieg und Regen eintrat, erkrankten alle bei der Arbeit am Hitzschlag. Selbst ein Fußmarsch von einigen Kilometern im langsamsten Tempo bei 80—90% Luftfeuchtigkeit löste wiederholt die schwersten Anfälle aus.

Hierher zu rechnen sind auch die Erkrankungen durch Überhitzung, die man in subtropischen und tropischen Gegenden nicht selten an den Maschinisten, Heizern, Köchen auf Dampfschiffen beobachtet. Nur daß hier die Wärmeerzeugung durch Muskelarbeit in ihrer ursächlichen Bedeutung gegenüber den hohen Temperaturen zurücktritt.

Körpertemperaturmessungen sind vielfach bei hitzschlagkranken Personen ausgeführt worden. Sie finden sich bei Jacubasch und Hiller[3]) zusammengestellt. Als niedrigste Temperatur wird 41,5° angegeben, wiederholt 42,8—42,9°, einmal 43,3° In sieben tödlich endenden Fällen fanden sich Temperaturen bis 45,0° C. Als Durchschnittstemperatur von Hitzschlagkranken dürfte die von 41,5—42° anzusehen sein.

Es handelt sich demnach um Temperatursteigerungen, denen man in fieberhaften Krankheiten äußerst selten begegnet und die man bei ihnen als fast absolut tödlich betrachtet.

Die erhöhte Körpertemperatur äußert ihre Wirkungen analog den Vorgängen bei der Erfrierung einerseits auf das Nervensystem, und zwar sowohl subjektiv wie auch objektiv in leicht erkennbarer Art, andererseits auf den Stoffwechsel. In beiderlei Beziehung sind die Folgen den bei Erfrierung gerade entgegengesetzt.

[1]) Vgl. Obernier, Der Hitzschlag. Bonn 1867, und Jacubasch, Sonnenstich und Hitzschlag. Berlin 1879. Hier reichliche Literaturangaben.

[2]) Zitiert nach Däubler, Die Grundzüge der Tropenhygiene. 2. Aufl. Berlin 1900.

[3]) Jacubasch a. a. O. und Hiller, Der Hitzschlag auf Märschen. Beiheft zum Militärwochenblatt 1887.

Die vom Nervensystem abhängigen Symptome hat Jacubasch anschaulich geschildert. Es stellt sich eine allmählich zunehmende Schwäche ein; die Bewegungen werden schlaffer, energieloser, der Gang schwankend und stolpernd, die steigende Ermattung zwingt endlich zur Unterbrechung des Marsches, zum Hinsetzen. Zugleich bestehen in diesem Stadium profuse Schweißsekretion, starkes Durstgefühl, heftiger Kopfschmerz, Beklemmungen, erregte Herztätigkeit. Die Zunge ist trocken, die Sprache wird heiser, das Gesicht ist gedunsen, tief gerötet, der Blick stier. Tritt keinerlei Schonung ein, so schreitet die Erkrankung fort und es kommt nun zu Schwindel, Flimmern vor den Augen und „schlagartig" zu Bewußtseinsverlust mit Niederstürzen. Es besteht ein soporöser Zustand, in dem der Kranke zunächst noch auf Anrufen reagiert. Bemerkenswert ist, daß in diesem Stadium die Schweißsekretion aufgehört hat; die Haut bleibt nach Abwischen des vorhandenen Schweißes trocken und ist brennendheiß. Die Herztätigkeit ist äußerst beschleunigt, dabei der Puls kaum fühlbar, auch die Atmung beschleunigt und oberflächlich; die Pupillen sind starr und verengt.

Endlich kann es zu allgemeinen Krämpfen kommen, und unter Erweiterung der reaktionslosen Pupillen, Lividefärbung der Haut, Entleerung blutigen Schaumes aus dem Munde, stertoröser Atmung, Pulslosigkeit tritt der Tod ein.

Zuweilen äußert sich der Hitzschlag ohne weitere Vorboten im Hinstürzen unter Bewußtlosigkeit und bald danach erfolgendem Tod.

Die Beeinflussung der Stoffwechselprozesse bei erhöhter Körpertemperatur — von ihrem Verhalten im Fieber wird hier abgesehen — tritt in einer Steigerung des Umsatzes zutage. Dabei bestehen aber Unterschiede zwischen Mensch und Tier. Bei letzterem (Kaninchen) stieg der Gesamtumsatz, gemessen durch den Gaswechsel, in den Versuchen von Velten und von Pflüger[1]) pro Grad Körpertemperatursteigerung ziemlich gleich, nämlich um 6,1% bzw. 5,7%, während beim Menschen die Zunahmen auch bei gleicher Erhöhung der Körpertemperatur in weiten Grenzen schwankten.

Hervorgerufen wurde letztere teils durch heiße Wasserbäder, teils durch Heißluft- oder elektrische Glühlichtbäder. In ersteren nahm in Versuchen von H. Winternitz der Gesamtumsatz bei Körpertemperatursteigerungen auf 38—39° um 40 bis 110% für den Sauerstoffverbrauch zu, das würden, nach Abzug des Mehrbedarfs für die bestehende Steigerung der Atemarbeit, 35—75% Zunahme der sonstigen Verbrennungsprozesse bedeuten.

Im Heißluftbade — Aufenthalt in einem stark geheizten Zimmer — nahm in Versuchen von Linser und Schmidt, in denen die Körpertemperatur der Versuchsperson gleichfalls zwischen 38 und 39° lag, der Sauerstoffverbrauch um 15% in minimo, um 97% in maximo zu. Endlich fand Salomon beim Aufenthalt im Glühlichtbade eine Zunahme, die nach Abzug des auf die gesteigerte Herz- und Atmungsfunktion kommenden Mehrverbrauches nur 15,9% ausmachte, während die Körpertemperatur bis zu 39,5° gestiegen war.

Es finden sich bei Überwärmungen also stets Steigerungen, aber sie sind aus noch nicht genau gekannten Ursachen ungleichmäßig.

An diesen Steigerungen beteiligt ist stets stickstofffreies Körpermaterial. Aber auch das Körpereiweiß erfährt eine Mehrzersetzung. Sie wird nach den Befunden von Linser und Schmidt[2]) allerdings erst bemerklich, wenn die Körpertemperatur

[1]) Näheres bei Loewy, Handb. d. Biochemie VI A. S. 213 ff. 2. Aufl. Jena 1923.
[2]) Linser und Schmidt, D. Arch. f. klin. M. 79 (1904).

39° überschreitet, ist bei 40° aber stets deutlich. Besonders nach schnell eintretenden Überwärmungen tritt leicht erhöhter Eiweißzerfall auf.

Auffallend und nicht vollkommen erklärt ist eine sehr starke Abmagerung, die sowohl bei Tieren zur Beobachtung kam, welche 5—6 Tage in geheitzten Kästen gehalten wurden, so daß ihre Körpertemperatur erhöht war, wie auch an Menschen (Soldaten), die sich durch anstrengende Märsche überhitzt hatten. Auch bei häufig genommenen Dampfbädern ist Abmagerung eine gewöhnliche Folge. Aber auch bei an Hitzschlag Gestorbenen scheint eine starke Abmagerung beobachtet worden zu sein, und auf sie ist wohl eine Angabe zurückzuführen, wonach am Hitzschlag erkrankte Soldaten ihrem Aussehen nach um zehn Jahre gealtert erschienen[1]).

Durch die Steigerung der Umsatzprozesse ist sie nicht gut zu erklären, möglich, daß Änderungen des Wasserhaushaltes mit im Spiele sind. —

Neben dem eigentlichen Hitzschlage kommt noch eine zweite Form der Überwärmung vor, an deren Zustandekommen neben hoher Lufttemperatur als wesentlicher Faktor eine übermäßige Sonnenbestrahlung beteiligt ist, der sog. Sonnenstich.

Die Wirkungen der strahlenden Wärme sind bereits S. 28 ff. besprochen worden. Auch sie ist imstande, zu mit dem Leben unverträglichen Körpertemperatursteigerungen zu führen, wobei — im Gegensatz zu der als Hitzschlag bezeichneten Erkrankung — diese schon bei Körperruhe zustande kommen. So sind Fälle von reinem Sonnenstich, die zum Tode führten, schon in unserem Klima bei Personen beobachtet worden, die sich an heißen Tagen in die Sonne zum Schlafe legten: an Feldarbeiterinnen während der Mittagsruhe, an einem Knaben, an einem Schäfer, die in der Sonne schliefen, u. a.

Der Sektionsbefund stellt sich etwas anders dar als beim Hitzschlag, indem starke Hyperämie der Hirn- und Rückenmarkhäute, ja eitrige Meningitis und Encephalitis festgestellt wurden.

Der Sonnenstich kommt in den Tropen verhältnismäßig selten vor, da dort die gefährliche Wirkung der Sonnenstrahlung bekannt ist und man sich hütet sich ihr längere Zeit auszusetzen.

Jacubasch stellt noch eine dritte Form von Erkrankung und Tod durch Überhitzung des Körpers auf, die fast nur in den Tropen vorkommen und allein durch übermäßige Außentemperaturen zustande kommen soll. Er nennt sie „Wärmeschlag“ Dieser kommt auch ohne jede Sonnenbestrahlung vor, ist z. B. bei Soldaten, die sich tagsüber in Zelten aufhielten, bei Leuten die in schattigen Räumen herumsaßen, ja bei Nachts in ihren Betten Schlafenden beobachtet worden. Die Krankheit äußert sich in leichteren Fällen in hochgradiger nervöser Erschöpfung; in den schwereren erfolgt der Tod so, daß die Betroffenen „wie vom Blitze gerührt“ umfallen.

4. Bewölkung und Niederschläge. Sonnenscheindauer.

Wirkung des Klimas auf das seelische Verhalten.

Wärme und Licht, also diejenigen Klimaelemente, welche für uns im Vordergrunde der Klimawirkung und Klimabewertung stehen, fließen uns von der Sonne zu. Es ist deshalb für die Beschaffenheit des Klimas von wesentlicher Bedeutung, in welchem Maße und in welcher Dauer die Sonnenstrahlung die Erdoberfläche erreicht.

Die Intensität der Sonnenstrahlung ist abhängig von der Entfernung der Erde von der Sonne. Diese Entfernung ist infolge der elliptischen Erdbahn um die

---

[1]) Vgl. Jacubasch, a. a. O. und Hiller, Beiheft zum Militärwochenblatt 1887 S. 153. Die Angabe rührt von dem Generalchirurgen Friedrichs des Großen, Mursinna, her.

Sonne nach den Jahreszeiten verschieden. Auf der nördlichen Halbkugel befindet sich die Erde während des Sommers in „Sonnenferne“, während des Winters in „Sonnennähe“. Die Strahlungsenergie ist demnach im Sommer auf der nördlichen Erdhalbkugel geringer als im Winter. Umgekehrt auf der südlichen. Daneben spielt aber der Stand der Sonne eine bedeutende Rolle, und zwar der jahreszeitliche und der tägliche: je höher die Sonne steht, um so stärker die Zustrahlung. In dieser Beziehung ist die Intensität der Strahlungsenergie abhängig von der Lage des Ortes auf der Erdoberfläche. Dabei kommt nicht nur die geographische Breite in Betracht, sondern auch die Erhebung über das Meeresniveau, letzteres deshalb, weil für die die Erdoberfläche treffende Strahlenmenge auch der Umfang der Absorption, den die Sonnenstrahlung durch die Atmosphäre erleidet, von Bedeutung ist. Je mehr Luftschichten sie durchläuft, um so mehr wird absorbiert. Es gelangt also um so mehr von der Strahlung an die Erdoberfläche, je höher gelegen ein Ort ist, je weniger Luftschichten also die Strahlen zu durchlaufen haben.

Neben der Strahlungsintensität ist als klimatischer Faktor bedeutsam die Strahlungsdauer. Zusammen ergeben beide die Strahlungssumme, die die Erde trifft. Die Strahlungs- bezw. Sonnenscheindauer wird bedingt durch die Länge des Tages, die ihrerseits wieder von der Lage auf der Erdoberfläche bestimmt wird. Die Tageslänge ist maßgebend aber nur für die sog. mögliche Sonnenscheindauer. Diese wird in Wirklichkeit nie erreicht. Die wirkliche Sonnenscheindauer bleibt hinter der möglichen mehr oder minder erheblich zurück. Hierfür können schon lokale Verhältnisse eine wesentliche Rolle spielen, besonders im Gebirge, wo die mögliche Sonnenscheindauer in Tälern, die von höheren Bergen eingeschlossen sind, erheblich verkürzt sein kann.

Aber die Hauptursache der Verkürzung der Sonnenscheindauer ist in der wechselnden **Bewölkung** des Himmels gegeben.

Bezüglich weiterer klimatischer Einzelheiten sei auf Bd. I dieses Werkes verwiesen, bezüglich der Methodik der Messung der verschiedenen Strahlengattungen besonders auf Dornos grundlegende Untersuchungen für Davos[1]).

Hier sei nur in Tabellenform für einige Orte die Zahl der wirklichen Sonnenscheinstunden angegeben (Tabelle 9) und zugleich (Tabelle 10), wieviel sie in Prozenten der möglichen ausmachen[2]).

Aus der Tabelle 9 gehen zunächst die sehr erheblichen Unterschiede hervor, die in der wirklichen Sonnenscheindauer zwischen den einzelnen Monaten des Jahres bestehen. In den Wintermonaten ist sie an allen angeführten Orten am geringsten, um über den Frühling gegen den Sommer anzusteigen. Dabei liegt das Maximum für die nördlicher gelegenen Orte (Hamburg und Magdeburg) bereits im Mai, für die südlicher liegenden im Juli.

Die absolute Sonnenscheindauer, die die Tabelle 9 in Stunden angibt, steigt in jedem Monat von den nördlicher gelegenen Orten zu den südlicheren an, so daß die Jahressumme in Rom das Doppelte, in Palermo fast das Doppelte von der in Hamburg beträgt: 2432 bzw. 2335 Sonnenscheinstunden gegen nur 1238.

Denselben Gang zeigen nach Tabelle 10 die Zahlen, welche angeben, wieviel Prozente der nach der Lage des Ortes möglichen Dauer des Sonnenscheins die wirkliche beträgt. Auch prozentisch stellt sich die Sonnenscheindauer am geringsten im Winter, am höchsten im Mai bzw. Juli—August, und ebenso rückt sie in den

---

[1]) C. Dorno, Licht und Luft des Hochgebirges. Braunschweig 1911, und Klimatologie im Dienste der Medizin. Braunschweig 1920.

[2]) Nach Schreiber, Der Sonnenschein. Leipzig 1899.

südlicheren Orten der möglichen weit näher, als in den nördlichen. Während in Hamburg und Magdeburg das Maximum nur 40 bzw. 50% des Möglichen beträgt, steigt es in Rom und Palermo auf 75%.

Tabelle 9. Wirkliche Sonnenscheinstunden.

	Hamburg	Magdeburg	Wien	Lugano	Rom	Palermo
Januar	30	52	67	130	116	104
Februar	60	72	85	142	141	110
März	91	115	130	184	155	153
April	150	166	165	179	187	172
Mai	*195*	*235*	241	205	234	216
Juni	164	221	232	262	287	297
Juli	136	207	*269*	*285*	*343*	*333*
August	157	199	243	276	322	313
September	133	156	175	206	228	229
Oktober	64	84	99	142	177	181
November	37	56	62	99	134	135
Dezember	21	40	49	122	109	88
Im Jahre	1238	1603	1817	2232	2432	2335

Tabelle 10. Wirkliche Sonnenscheindauer in Prozenten der möglichen.

	Hamburg	Magdeburg	Wien	Lugano	Rom	Palermo
Januar	12	21	24	55	40	33
Februar	22	27	29	57	47	36
März	25	31	35	55	42	41
April	35	40	40	48	47	44
Mai	*40*	*50*	51	49	52	49
Juni	32	44	48	62	65	67
Juli	27	41	*56*	*67*	*75*	75
August	34	44	55	*67*	*75*	*76*
September	35	41	46	60	61	62
Oktober	20	27	29	48	52	52
November	15	21	22	42	44	44
Dezember	9	17	19	56	39	29
Im Jahre	28	36	41	56	55	52

Im Jahresdurchschnitt hat Hamburg nur 28% der möglichen Sonnenscheindauer, Lugano, Rom, Palermo haben über 50%.

Noch weit höhere Werte findet man in besonders sonnenreichen Klimaten, z. B. im ägyptischen Wüstenklima. Hier betragen für die fünf Wintermonate, vom November bis März, die am ungünstigsten gestellt sind, die Sonnenscheinstunden im Mittel für Kairo 61%, Heluan 78%, Karthum 79% der möglichen. Näheres ist im Kapitel „Wüstenklima" angegeben.

Da der Sonnenschein durch seine Wärme- und Lichtstrahlen als hauptsächliche Quelle der Wärmezufuhr in Betracht kommt, ist eine Kenntnis der Wärmesummen wichtig, die durch ihn der Erdoberfläche zugeführt werden.

Die Tabelle 11 gibt nach Dorno[1]) einige solcher Werte in g-Kalorien für den Quadratzentimeter Fläche, wobei „normale" Flächeneinheit diejenige ist, bei der die Fläche sich senkrecht zur Strahlenrichtung befindet.

[1]) Dorno, Die Klimatologie im Dienste der Medizin. Braunschweig 1920. S. 26.

Tabelle 11. Strahlungssummen in g-Kalorien.

Ort	Geogr. Breitengrade	Summen für normale Flächeneinheit			Summen für die horizontale Flächeneinheit		
		möglich	wirklich	Prozent	möglich	wirklich	Prozent
Stockholm	59,3	251 860	108 870	43	107 269	55 620	52
Potsdam	52,4	230 590	98 510	43	112 070	53 890	48
Warschau	52,2	216 200	86 350	40	106 800	50 920	48
Davos	46,8	255 060	137 504	54	142 000	78 110	55

Die Tabelle zeigt die möglichen und die wirklichen Kalorienmengen, die während eines Jahres zugestrahlt werden, und das Verhältnis, in dem beide an verschiedenen Orten zueinander stehen, sowohl für die „normale", wie für die horizontale Fläche. Die Differenzen zwischen den angeführten Orten sind erheblich. Die größte Wärmemenge erhält von den vier aufgeführten Orten Davos. Das rührt von seiner Höhenlage her, derzufolge die Strahlungsintensität höher ist als im Tieflande. Dabei ist zweierlei klimatologisch für die Höhe wichtig. Erstens daß in ihr die tägliche Strahlungsintensität gerade bei Tiefstand der Sonne verhältnismäßig erheblicher ist als im Tieflande, zweitens daß auch jahreszeitlich im Hochlande eine günstigere Verteilung der Wärmezufuhr durch Strahlung statthat, indem sie gerade in den Wintermonaten nicht nur absolut, sondern auch relativ viel höher liegt als im Tieflande.

So beträgt die Wärmezustrahlung in Davos in den Wintermonaten das Dreifache von der in Potsdam, während sie sie im Hochsommer nur wenig übertrifft; die Bestrahlung des horizontalen Bodens ist im Juni in Potsdam 20mal, in Davos nur 6mal größer als im Dezember. Das Strahlungsklima ist also im Hochgebirge weit gleichmäßiger (Dorno).

Für die klimatologische Bewertung sind noch zwei Punkte beachtenswert. Erstens: Wenn auch in höheren Breitenlagen die Sonnenscheindauer während des Winters kurz ist, so besteht doch eine lange Dämmerung, die das geringe Maß von Sonnenschein etwas auszugleichen vermag. Zweitens: Für die Zustrahlung spielen unter den atmosphärischen Faktoren neben der Bewölkung noch lokale Vorgänge eine Rolle, durch die die Atmosphäre getrübt wird. So durch Winde aufgewirbelte Sand- oder sonstige Staubmassen. Sie werden klimatisch wichtig da, wo die Winde periodisches Auftreten zeigen. Besonders intensiv macht dieser Einfluß sich im Wüstenklima geltend (s. daselbst). Ebenso bedeutungsvoll sind die Trübungen, die durch Rauch erzeugt werden. Daher ist die Sonnenstrahlung in großen und zumal in industriereichen Städten, in denen Kohle als Brennmaterial benutzt wird, viel geringer als auf dem Lande. Nach Glan soll die Atmosphäre in Berlin viermal mehr Licht zurückhalten als entfernt von der Stadt[1]).

Wolken, die sich bis auf die Erdoberfläche senken, stellen den **Nebel** dar. Er bildet sich besonders häufig und dicht da, wo die Atmosphäre mit Verbrennungsprodukten, also mit Rauchteilchen, mit „nitrosen Gasen" erfüllt ist, die als Kerne für die Kondensation des Wasserdampfes dienen[2]). Er tritt also weniger auf dem freien Lande auf, als in und um größere Städte. Häufige Nebel können dem Klima besondere Eigentümlichkeiten verleihen.

Berüchtigt sind z. B. die Londoner Nebel. Sie bewirken, daß London in den

---

[1]) Behre, Das Klima von Berlin. Berlin 1908. S. 122.

[2]) Näheres vgl. Bd. I S. 467.

vier Wintermonaten (November bis Februar) nur 96 Sonnenscheinstunden aufweist, die Umgebung von London dagegen 207 (Aspley Guise) und Eastburne 268[1]).

Während London 74 Nebeltage im Jahre hat[2]), hat Wien nur 35, Neufundland 165.

Dabei ist es klimatotherapeutisch wichtig, in welche Jahreszeit die meisten Nebel fallen. So treten in Wien im Sommer nur 0,4, im Herbst 13, im Winter 18, im Frühling nur 4 Nebeltage auf. Wichtig ist auch, ob die Nebel den ganzen Tag über bestehen bleiben, oder nur in den Morgen- oder Abendstunden.

Die Bedeutung der Nebel für die ärztliche Klimatologie liegt darin, daß ihr Wasserdampf den Sonnenstrahlen den Durchtritt verwehrt. Die auf die Erde treffende Strahlungsmenge ist also gering. Zudem erhöht der Nebel die Luftfeuchtigkeit bis zur Sättigung mit Wasserdampf. Es kommt also zu den Wirkungen, die einem gesteigerten Wasserdampfgehalt der Luft zukommen und die S. 21 ff. beschrieben wurden. In unseren Breiten wirken Nebel auf den menschlichen Organismus wesentlich durch gesteigerte Wärmeabgabe infolge vermehrter Leitung und Strahlung, und führen bei den niedrigen Temperaturen, bei denen sie gewöhnlich auftreten, zu einem Gefühl unangenehmer Kühle bzw. Kälte. — Nebelreiche Orte wird man demgemäß für Klimakuren zu vermeiden suchen.

Wie Nebel die Zustrahlung von der Sonne her beeinträchtigen, so hemmen sie andererseits die Wärmeausstrahlung vom Erdboden in die Atmosphäre. Das kann für die Abend- und Morgentemperaturen eines Ortes bedeutsam werden, da sie bei abendlichem und nächtlichem Nebel höher bleiben, als bei ungehinderter Wärmeausstrahlung. —

Mit Nebel und Wolken in enger Beziehung stehen die **Niederschläge.** Über ihr Zustandekommen und physikalisches Verhalten ist alles Nötige bereits in Bd. I dieses Werkes (S. 407 ff.) gesagt. Die Angaben über die Niederschlagsmengen werden nach verschiedenen Gesichtspunkten gemacht. Ärztlich-klimatologisch am wenigsten bedeutsam sind die Angaben über ihre jährliche Menge in Millimetern Höhe, wobei der etwaige Schnee nach seinem Schmelzen in Wasserhöhe angegeben wird. Wichtiger schon ist die Kenntnis der monatlichen Niederschlagsmengen und der Regentage, sowie der Regenstunden an diesen.

Dies läßt Schlüsse zu auf die Verteilung der Niederschläge über die einzelnen Jahreszeiten und Monate, ob sie gleichmäßig ist oder ob längere Perioden von Trockenheit durch Regenperioden abgelöst werden. — Beachtlich ist weiter die Feststellung, ob vorwiegend Landregen oder ob Platzregen vorkommen, wegen ihrer verschiedenen Wirkung auf den Boden und auf die Atmosphäre.

Die Niederschläge sind bedeutungsvoll nicht nur durch ihre direkte Wirkung auf den Menschen, vielmehr ebensosehr indirekt durch den Einfluß, den sie auf die Vegetation und damit auch wieder auf das Klima ausüben. Letzteres gilt im besonderen Maße für tropische und subtropische Gebiete, in denen mangelnder oder reichlicher Regenfall den ganzen Charakter der Vegetation bestimmen können.

Jeder Regen-(auch Schnee-)fall hat seine klimatologische Bedeutung dadurch, daß er die Atmosphäre von suspendierten festen Teilchen reinigt. Inwiefern dies auf das Wohlbefinden oder heilend auf krankhafte Prozesse wirkt, wird später erörtert werden.

Längere Regen führen zu einer Erhöhung der Luftfeuchtigkeit und wirken dadurch in früher angegebener Weise auf die Wärmeökonomie ein.

---

[1]) Rubner, Hygienisches von Stadt und Land. München.

[2]) Hann, Handb. d. Klimatologie I S. 71. 3. Aufl. Stuttgart 1908.

Orte mit regenreichem Klima sind nicht für Klimakuren empfehlenswert, weil der Aufenthalt im Freien beschränkt wird und wenig angenehm ist, nicht nur während des Regens, sondern auch nach ihm, letzteres an Orten, wo der Boden ein schnelles Ablaufen oder Versickern des Wassers nicht gestattet, also lange feucht und kühl bleibt.

Der Schneefall hat klimatische Bedeutung da, wo es zur Bildung einer länger liegenden Schneedecke kommt. Der Schnee zeichnet sich durch eine schlechte Wärmeleitfähigkeit und eine starke Wärmeausstrahlung aus. Infolgedessen wird der Boden, solange er durch eine Schneedecke geschützt ist, sich bei niedrigen Lufttemperaturen weit weniger abkühlen als ohne eine solche, weil einerseits die Kälte weniger in ihn eindringt, andererseits er seine Wärme weniger nach außen abgeben kann. Das ist für das Pflanzenwachstum wichtig, weil dadurch die Wurzeln der Bäume und Sträucher sowie die Saaten vor dem Erfrieren in weiten Grenzen bewahrt bleiben.

Die starke Strahlungsfähigkeit der Schneeoberfläche kühlt diese erheblich ab auf Temperaturgrade, die weit unter die der freiliegenden Erdoberfläche hinabgehen; durch sie wird auch die Temperatur der untersten Schichten der Atmosphäre stark erniedrigt.

Demgegenüber wird an klaren Tagen die auf die Schneedecke treffende Wärmestrahlung der Sonne stark reflektiert, was für die irdischen Gegenstände und auch für den Menschen einen mehr oder weniger erheblichen Wärmezuwachs bedeutet.

Auch auf den Ablauf der Wärmeverhältnisse des Klimas im Verlaufe des Jahres hat die Schneebedeckung einen ausgesprochenen Einfluß, wie Woeikoff[1]) zeigte. Denn sobald es im Frühjahre zum Schmelzen des Schnees kommt, wird die dem Erdboden zuströmende Wärme wesentlich zur Schneeschmelze verbraucht und die Erwärmung der Luft verzögert. Die frühjahrliche Wärme der Luft tritt später ein und die ersten Frühjahrsmonate (April) sind kälter als die ersten Herbstmonate (Oktober).

Hygienisch ist die Zeit der Schneebedeckung günstig infolge Mangels an Staubentwicklung, die Zeit der Schneeschmelze ungünstig durch die Feuchtigkeit des Bodens und der Luft, die den Aufenthalt im Freien beeinträchtigen.

Bisher ist ausschließlich das körperliche Befinden unter Sonnenschein bzw. Bewölkung und Niederschlägen besprochen worden. Aber gerade diese Elemente haben eine ausgesprochene **Wirkung auf das seelische Verhalten des Menschen.** Daß man sich psychisch an einem sonnigen Tage ganz anders verhält als an einem trüben und düsteren, ist eine allgemeine Erfahrung, und die seelische Beschaffenheit wirkt ihrerseits wieder auf die körperlichen Funktionen zurück.

Wie sich das Seelenleben unter dem Einfluß der einzelnen Klimaelemente und in den verschiedenen Klimaten gestaltet, ist in den letzten Jahren von verschiedenen Seiten dargestellt worden. Am eingehendsten von Hellpach[2]), der als „geopsychische Erscheinungen" diejenigen seelischen Äußerungen bezeichnet, die von Wetter, Klima und Landschaft abhängig sind. Eine kürzere Bearbeitung des Gegenstandes gibt B. Berliner[3]). Auf beide muß hinsichtlich der Einzelheiten verwiesen werden.

Den Ausgangspunkt, von dem aus die seelischen Vorgänge beeinflußt werden, stellen die Sinnesorgane dar: die Hautsinnesorgane und die höheren Sinne. Hell-

---

[1]) Woeikoff, Der Einfluß einer Schneedecke auf Boden, Klima und Wetter. Wien 1889, und Meteorol. Zschr. 1894.

[2]) W. Hellpach, Die geopsychischen Erscheinungen usw. 2. Aufl. Leipzig.

[3]) B. Berliner, Der Einfluß von Klima, Wetter und Jahreszeit auf das Nerven- und Seelenleben. Wiesbaden 1914.

pach macht dabei den prinzipiellen Unterschied, daß er nur diejenigen Einflüsse als „klimatisch“ bezeichnet, die und soweit sie eine physiologische Wirkung, eine Änderung in unseren körperlichen Funktionen hervorrufen — er nennt sie tonische Wirkungen —, diejenigen aber „landschaftlich“ nennt, die uns als seelische Wahrnehmung zum Bewußtsein kommen und dadurch unseren Seelenzustand verändern. Diese Sonderung ist aber nicht scharf durchzuführen, denn auch die uns bewußt werdenden sinnlichen Wahrnehmungen verlaufen mit körperlichen Vorgängen oder vermögen solche auszulösen. Das gilt besonders für die durch die Hautsinne vermittelten, aber selbst auch für die von den höheren Sinnesorganen ausgehenden.

Die primären Sinneserregungen können, indem sie uns von dem Zustande der betroffenen Organe unterrichten, so besonders die des Hautorganes bei Wärme und Kälte, seelische Wirkungen in uns freimachen; sie können aber auch sekundär, z. B. durch vasomotorische Effekte — unter besonderen Umständen, wie im Höhenklima (s. daselbst), auch durch chemische — auf das Großhirn und weiter auf die Psyche wirken. Wichtig scheint, worauf Berliner hinweist, für das Zustandekommen von seelischen Wirkungen die Beeinflussung zu sein, die die Gemeingefühle durch das Klima erfahren. Dabei kann ihre Einstellung abhängen nicht nur von den unser Bewußtsein erfüllenden sensorischen Erregungen, vielmehr auch von solchen, die im einzelnen im Unterbewußtsein bleiben und trotzdem Lust- oder Unlustgefühle in uns wachrufen.

Die einzelnen Klimafaktoren und ein Gesamtklima wirken nicht auf jedermann in gleichem Maße, nicht einmal stets in gleichem Sinne auf die Psyche. Von Einfluß ist hier, neben dem allgemeinen körperlichen Verhalten, der Charakter, das Temperament, Lebensalter, Gewöhnung. Das Höhenklima z. B. führt meist zu starker psychischer und psychomotorischer Erregung, zu lebhaftem Tätigkeitsdrang, zu einem eigentümlichen Glücksgefühl; bei anderen können im Gegenteil Depressionszustände auftreten. Ein dauernd gleichmäßiges Klima kann im Beginn ganz andere Wirkungen äußern als bei längerem Aufenthalt. So vermag ein ununterbrochener Sonnenschein, wie ihn das Wüstenklima bietet, nach einer mehr oder weniger langen Periode gesteigerten Lebensgefühls und heiterster Stimmung ein Gefühl der Niedergeschlagenheit und des Betrübtseins auszulösen. Im Polarklima (s. daselbst) bilden sich erst allmählich die ihm eigentümlichen psychischen Effekte aus. Im Beginn des Aufenthaltes besteht eine fast unüberwindliche Schlafsucht, später Schlaflosigkeit, auch wechseln Reizbarkeit mit psychischen Depressionen.

Die den einzelnen Klimaten zukommenden psychischen Erscheinungen werden an den betreffenden Stellen besprochen werden; hier seien zunächst die hauptsächlichsten Wirkungen der einzelnen Klimaelemente aufgeführt.

Für jedes gibt es einen mittleren Zustand, der einen Indifferenzpunkt in bezug auf das psychische Verhalten darstellt. Der daraus resultierende Seelenzustand ist gekennzeichnet durch das Gefühl des Behagens, dem eine gewisse geistige, auch körperliche Trägheit beigemischt ist. Die physiologische Grundlage dieses Behagens liegt wohl — das gilt vor allem für die uns durch das Hautsinnesorgan zukommenden Reize — darin, daß durch sie nicht reflektonisch irgendwelche Organe zur Tätigkeit angeregt werden.

Sobald die Klimaelemente derart beschaffen sind, daß sie von dem mittleren Grad der Reizstärke abweichen, dann beginnt jedes, indem es die körperlichen Funktionen in dieser oder jener Richtung anregt, auch das seelische Verhalten in besonderer Weise zu verändern.

Das gilt besonders für die an der Wärmeregulation beteiligten Klimaelemente.

Wandeln sie sich derart, daß eine Wärmeentziehung stattfindet, so kommt es zunächst zu einem Gefühl der Erfrischung, das zu gesteigerter Willensenergie und zu einer Anregung der Muskeltätigkeit führt. Aber diesem als angenehm empfundenen Stadium folgt bei weiterer Abkühlung das mit Unlustgefühlen verbundene Frösteln, das zunächst instinktiv zu gesteigerter Muskeltätigkeit führt, dann aber zu der Neigung sie möglichst zu vermeiden. Damit einher geht eine Herabsetzung der geistigen Tätigkeit, eine Art Erstarrung im Ablauf der Denkprozesse. Diese braucht nicht stets allseitig zu sein, wenigstens gibt Berliner[1]) an, daß unter Kältewirkung bei den von ihm untersuchten Kindern zwar die Aufmerksamkeitsleistungen abnahmen, nicht aber die Rechengeschwindigkeit.

Wärmezufuhr bzw. Unmöglichkeit genügender Wärmeabgabe führt zu einem Gefühl der Mattigkeit, der Erschlaffung, geistiger Trägheit, die besonders gegenüber feuchter Wärme fühlbar werden kann. Diese ruft in uns das Empfinden der Schwüle hervor. Die Symptome verminderter Energie können sich mit Reizbarkeit und Unruhe paaren.

Das Licht wirkt in hohem Grade erregend, vorzüglich die langwelligen Strahlen. Nicht nur daß es eine größere Lebhaftigkeit hervorruft, einen gesteigerten Bewegungsdrang; auch die Stimmung wird fröhlicher, heiterer, und bei intensiver Belichtung, wie sie schon mit längeren Sonnenbädern einhergeht, kann es zu ausgeprägten Erregungszuständen kommen, die zunächst noch mit einem lustbetonten Gefühl, später mit unangenehmen Empfindungen einhergehen. Hasselbalch[2]) sah Derartiges auch nach Kohlenbogenlichtbestrahlungen. Er selbst, dessen Stimmung normalerweise indifferent oder leicht deprimiert war, geriet in eine nicht zu beherrschende Lebhaftigkeit und gibt auch von anderen seiner Versuchspersonen an, daß sie Zeichen einer leichten Manie darboten.

Längerer Mangel an Licht, wie im Polarwinter, führt zu Gleichgültigkeit, Energielosigkeit, bei manchen Personen gesellt sich dazu psychische Reizbarkeit, wechselnd mit depressiven Zuständen. —

Die seelischen Wirkungen, die das Klima als Ganzes ausübt, hängen nicht allein mit dem Verhalten seiner atmosphärischen Elemente zusammen, auch nicht so sehr mit dem seiner terrestrischen, soweit sie unmittelbare physiologische Wirkungen hervorrufen, vielmehr wesentlich mit der Landschaft, d. h. Erde und Himmel in ihrer Wirkung auf unsere höheren Sinne.

Im Vordergrunde stehen die Gesichtswahrnehmungen. Aber auch Gehör und Geruch spielen dabei eine Rolle. Darüber hat sich Hellpach ausführlich verbreitet. Er weist auf die seelische Wirkung des Meeresbrausens, der Wasserfälle, des Rieselns von Bächen hin, auch auf den Gesang oder das Geschrei von Vögeln. Starke Gehöreindrücke erregen, mäßige und besonders gleichförmige beruhigen. Melodischer Vogelgesang löst angenehme, Gekreisch unangenehme Empfindungen und Stimmungen aus.

Ebenso wirken auf unseren Gemütszustand die mannigfachen Gerüche: der Waldgeruch, der Laubgeruch, der Erdgeruch, der Tanggeruch an der See. Sie sind in unserem Bewußtsein mit dem entsprechenden Klima verknüpft, ja sie allein vermögen in unserer Phantasie alle übrigen Bestandteile des ihnen zugehörigen Klimas wachzurufen.

Der Hauptsinn, durch den die Landschaft unsere Seele zum Mitschwingen bringt,

---

[1]) Berliner, Zschr. f. Balneol. VI (1913).

[2]) Hasselbalch, Skand. Arch. f. Physiol. 17 S. 431 (1905).

ist aber der Gesichtssinn. Er wirkt auf sie durch die Farben und die Formen der Gegenstände, wobei ersteren die größere Bedeutung zukommt.

Die verschiedenen Farben wirken verschieden intensiv auf unseren Gesichtssinn: am meisten Rot, weniger Gelb und Grün, am wenigsten Blau und Violett. Der Gefühlston, der sich mit ihrer Wahrnehmung verbindet, ist nicht von der Farbe allein abhängig, wird vielmehr beeinflußt von dem Grade der Farbsättigung und von der Helligkeit. Für die Wirkung des farbigen Landschaftsbildes ist es weiter wesentlich, daß meist nebeneinander zahlreiche Farben vorhanden sind, die auf uns zugleich durch die sich ergebenden Kontrastwirkungen Einfluß haben. Der zustande kommende Gefühlston ist stets ein lustbetonter, dabei bei Rot und Gelb zugleich ein erregender, bei Grün und Blau beruhigend. — Demgegenüber wirkt das nichtfarbige Licht — schwärzlich und grau — bedrückend und deprimierend.

Zu beachten ist, daß Rot und Gelb im Landschaftsbilde wenig verbreitet sind; vorherrsehend sind Grün und Blau, Grau und Schwarz. — Weiß spielt daneben eine Rolle in der Winter- bzw. Gletscherlandschaft und in dem Nebelmeer. Wichtig ist die lusterregende Wirkung, die von dem Glanze ausgeht, den sonnenbeleuchtete Wasserflächen darbieten.

Weniger deutlich ist die Bedeutung der Formen der Landschaft für die seelischen Vorgänge. Hier spielt die individuelle Empfänglichkeit, der angeborene „Natursinn“, die ästhetische Erziehung eine wesentliche Rolle.

Besonders dem Beschauer bisher ungewohnte Formen und komplizierte Bildungen, wie sie den Gebirgen, oder große Ausmaße, wie sie dem Meer und dem Hochgebirge eigentümlich sind, erweisen sich in Hinsicht der Beeinflussung des seelischen Zustandes als wirksam. Mehr noch als bei ruhender ist dies der Fall bei der bewegten Landschaft — wogendes Meer, Wasserfälle, dahinziehende Wolken, Schneefall —, wobei die Stärke und die Gleichmäßigkeit der Bewegung die Art der auftauchenden Gefühle mitbestimmen. Im Einzelfalle wird die Wirkung verschieden sein können, indem das gleiche Landschaftsbild auf diesen anregend, auf jenen mehr lähmend wirkt, eine Berglandschaft den einen erhebt, den anderen niederdrückt und mit einem Gefühl der Bangigkeit und der Beklemmung erfüllt. — Gleichmäßige, nicht zu schnelle Bewegungen, z. B. Schneefall, wirken im allgemeinen beruhigend; erregend eine ungleichmäßige, „unruhige“ und zu schnelle Bewegung, z. B. das bewegte Meer.

Es gibt jedoch einige Landschaftscharaktere, die auf alle normalen Menschen eine im Wesen gleiche, bestimmte seelische Wirkung äußern. So die sonnige Landschaft. Durch die mit dem Sonnenschein verbundene Bläue des Himmels, durch die Lebhaftigkeit der Farben, durch den Glanz der Wasserflächen, die Kontraste zwischen Licht und Schatten, durch die Lebendigkeit der Tierwelt wird ein Gefühl des Gehobenseins hervorgerufen, eine heitere, frohe, angeregte Stimmung (Hellpach). Umgekehrt wirkt eine sonnenlose, nebelbedeckte, verregnete Landschaft, „trübes“ Wetter, lähmend auf die Unternehmungslust, stimmt mißmutig und unlustig. Ebenso löst eine Berglandschaft ganz andere Empfindungen aus als eine Tallandschaft: erstere erregt, kann erhebend wirken, das eigentliche Hochgebirge aber auch beängstigend und lähmend; letztere wirkt beruhigend.

Neben der Wirkung des Klimas auf die Gemütsverfassung des einzelnen Menschen ist vielfach auch als natürliche Folge hiervon eine Beeinflussung des Charakters und des Temperamentes ganzer Stämme und Völker durch das Klima, unter dem sie dauernd leben, behauptet worden. Besonders Ratzel[1]) hat diesen Gedanken weiter ausgeführt. Jedoch zeigt ein genaueres Eingehen auf den Charakter verschiedener Völker unter Berücksichtigung des Klimas, unter dem sie leben, daß diese Wirkung durchaus nicht überall deutlich hervortritt, daß unter ähnlichen Klimaverhältnissen ganz verschiedene Volkscharaktere leben können und daß die Gemütsveranlagung eines Volkes, wie sie durch die Rasse gegeben ist, sich trotz Klimaverschiedenheiten gleich erhält[2]).

[1]) Ratzel, Anthropogeographie. Stuttgart 1882.

[2]) Beispiele bei Hellpach, a. a. O. S. 309 ff.

Um den Einfluß, der dem Klima auf die Ausbildung mancher Merkmale des Volkscharakters zugeschrieben wird, darzutun, weist z. B. Desor auf die Bevölkerung der Vereinigten Staaten hin. Wie die Eingeborenen, so zeigen auch die Eingewanderten die eigentümliche Rastlosigkeit in ihrer Tätigkeit und eine auffallende nervöse Reizbarkeit.

Berliner[1]) hat an zahlreichen Kindern, die zum Ferienaufenthalt von Berlin nach der Ostsee gebracht waren, die psychischen Funktionen, die mit den Denk- und Willensprozessen in Zusammenhang stehen, mit den modernen psychologischen Methoden verfolgt. Er fand eigentümliche Abweichungen nach verschiedenen Richtungen (gesteigerte psychomotorische Erregung, verminderte Aufmerksamkeit). Ob man jedoch diese Ergebnisse als im eigentlichen Sinne klimatische bezeichnen soll, ist fraglich, da die ganze Umwelt der Kinder eine andere war als zu Hause.

Anhangsweise soll hier kurz darauf hingewiesen werden, daß nicht nur das Klima, sondern schon das Wetter deutliche und unter Umständen starke Wirkungen auf das seelische Verhalten ausübt. Von den verschiedenen Wetterformen kommen hierfür in Betracht die Schwüle, die zu Mattigkeitsgefühl, Beklommenheit und Unruhe führt, besonders die Schwüle vor Gewittern. Weiter das Gewitter selbst, mit dem seelische Erregung bis zu Angstzuständen sich verbindet; das Gefühl der Erleichterung, der seelischen Befreiung nach dem Gewitter. Gedrückte Stimmung und Bangigkeitsgefühl soll bei manchen Menschen auch vor Schneefällen sich einstellen, dasselbe auch vor dem Einsetzen und während des Webens mancher Winde, z. B. des Föhns. Ja, schon plötzlicher Witterungswechsel als solcher vermag mannigfache seelische Empfindungen auszulösen.

5. Der Luftdruck.

So wichtig der Luftdruck und seine Kenntnis für die meteorologischen Vorgänge und ihre Deutung sind, so wenig besagen seine Höhe und deren durch die Witterungsverhältnisse verursachten Schwankungen, für den gesunden Menschen wenigstens, vom klimatologischen Gesichtspunkte. Klimatologisch wichtig wird die Höhe des Luftdruckes nur in dem einen Falle, daß er so weit herabgesetzt ist, daß der dem Luftdrucke parallel gehende Sauerstoffgehalt unter die Grenze sinkt, bei der noch eine normale Sauerstoffversorgung der Gewebe möglich ist.

Die klimatischen Schwankungen des Luftdruckes betragen im täglichen Mittel nur 2—3 mm Hg, im jährlichen Mittel höchstens 20 mm. Auch die extremen Luftdruckwerte und Luftdruckschwankungen, die an einem Orte zur Beobachtung kommen, liegen verhältnismäßig nicht weit voneinander. So betrug für Berlin der höchste bis jetzt beobachtete Luftdruckwert 787,2 mm (23. Jan. 1907), ein ihm nahekommender 785 mm (4. Jan. 1789); der niedrigste, wie es scheint, bis jetzt festgestellte 737,6 mm (30. Jan. 1907). Das Barometer war im Januar 1907 in 8 Tagen um 49,6 mm gefallen, d. h. im Durchschnitt pro Tag um 7 mm. Schwankungen um 22 mm pro Tag kommen, wie Hann angibt, nur sehr selten und nur in bestimmten Gegenden vor.

Da ein Höhenunterschied von 10 m einer Luftdruckänderung von 1 mm entspricht, würde selbst die maximale Luftdruckveränderung von 22 mm pro Tag nur einem (im Laufe eines Tages erfolgenden) Wechsel der Höhenlage um 220 m entsprechen.

Das führt zu keinerlei unmittelbaren physiologischen Wirkungen. Mittelbar kann unser Organismus durch derartige maximale Barometeränderungen insofern beeinflußt werden, als diese die Ursache für den Wechsel anderer Klimafaktoren sind, die mit unserem Befinden in engerer Beziehung stehen. Denn schnelle und ausgiebige Schwankungen des Barometerdruckes führen zur Ausbildung von Luftbewegungen

[1]) Berliner, Zschr. f. Balneol. VI (1913).

und diese wieder sind die Träger veränderter Wärme- und Feuchtigkeitsverhältnisse der Atmosphäre und beeinflussen uns also durch diese letzteren.

Darum können auch die mannigfachen Krankheitserscheinungen, die man gleichzeitig mit plötzlichen und starken Barometersenkungen eintreten sieht, kaum direkt auf diese bezogen werden. Hierher gehören z. B. Lungenblutungen bei Lungentuberkulösen. Nach Unverricht[1]) traten bei 102 Davoser Kranken 89mal Lungenblutungen ein bei fallendem Luftdruck, zugleich mit föhnartigen Winden. Unverricht bezicht sie auf die kleinen und schnell sich folgenden Luftdruckschwankungen, die bei Änderungen der Wetterlage auftreten, zugleich aber auch auf Veränderungen des luftelektrischen Zustandes.

Experimentelle Erfahrungen haben gezeigt, daß Änderungen des Luftdruckes um viele Hunderte von Millimetern Hg nicht nur keinerlei Schädigung hervorrufen, ja unsere Funktionen kaum beeinflussen, selbst wenn sie in sehr kurzer Zeit vor sich gehen. Wenn es sich hier auch um Barometerdrucke handelt, die klimatisch nicht mehr in Betracht kommen, so müssen die hierhergehörigen Versuche doch eine kurze Besprechung finden..

Am klarsten tritt die Wirkung des geänderten Luftdruckes in Untersuchungen hervor, die in pneumatischen Kammern ausgeführt wurden, in denen Luftverdichtungen und Luftverdünnungen beliebig vorgenommen werden konnten. — Zunächst sei die Wirkung der Luftverdichtung besprochen.

Die ersten ausgedehnteren Untersuchungen am Menschen stammen von v. Vivenot[2]). Er hat den Einfluß der verdichteten Luft auf die verschiedensten Körperfunktionen untersucht, zum Teil allerdings mit nicht ganz zureichender Methodik. Er bespricht auch alle Erfahrungen, die im praktischen Leben unter Luftverdichtung gewonnen waren: im Bergbau, bei Unterwasserbauten, in der Taucherglocke[3]).

Weitere Versuche mit genauerer Methodik hat in größerer Zahl Loewy[3]) ausgeführt, bei dem sich zugleich eine kritische Besprechung der früheren findet. Auf die Wirkung der verdichteten Luft auf die Sinnesorgane — Beeinträchtigung der Geruch-, Geschmack, Tastempfindung und des Muskelsinnes — ebenso wie auf das Nerv-Muskelsystem und auf das Verhalten der im Körper eingeschlossenen freien Gase soll hier nicht weiter eingegangen werden. Erwähnt sei nur die auf die Atmungs- und Kreislaufstätigkeit.

Die Atemmechanik ändert sich, wohl durch rein mechanische Verhältnisse — Verdichtung der Darmgase — derart, daß die Frequenz sich etwas vermindert, die Atemtiefe etwas anwächst, so daß die Resultierende, nämlich das Atemvolumen in der Minute keine eindeutige Abweichung von der unter Atmosphärendruck zeigt.

Auch der Atmungschemismus erwies sich bis zu einem Druck von 1440 mm, d. h. bis fast zum doppelten Atmosphärendruck, nicht verändert. Der Sauerstoffverbrauch wie die Kohlensäureausscheidung sind innerhalb der Fehlergrenzen unverändert geblieben, demnach auch der respiratorische Quotient. Loewy zeigte zugleich, daß auch die Muskelarbeit unter dem gleichen Sauerstoffverbrauch geleistet wird wie in der Norm.

Deutlich beeinflußt werden einzelne am Blutkreislauf beteiligte Faktoren: die Pulsfrequenz ist häufig beschleunigt, der Blutdruck war in der Mehrzahl der Beobachtungen erhöht. Die Pulsgröße fand sich — von Waldenburg[4]) direkt mit seiner Pulsuhr bestimmt — verkleinert. Vielfach angenommen wird eine geänderte Verteilung des Blutes im Gefäßsystem, indem es nach der Anschauung der einen Reihe von Autoren aus der Körperperipherie verdrängt sich in den inneren Organen, im Muskel- und Zentralnervensystem ansammeln soll (v. Vivenot, Waldenburg), nach anderen (v. Liebig) aus dem großen Kreislauf sich in den kleinen in größerer Menge entleeren soll.

Die Blutstromgeschwindigkeit änderte sich — direkt nach einer von Zuntz angegebenen Methode von Loewy am Hunde bestimmt — nicht.

---

[1]) Unverricht, Zschr. f. Tuberkulose 27 (1917).

[2]) v. Vivenot, Zur Kenntnis der physiologischen Wirkungen und der therapeutischen Anwendung der verdichteten Luft. Erlangen 1868. Hier auch die ältere Literatur.

[3]) Geschichtliche Mitteilungen auch a) bei Paul Bert, La pression barométrique. Paris 1878, und b) bei A. Loewy, Untersuchungen über die Respiration und Zirkulation usw. Berlin 1895. Mitteilung der Ergebnisse des Letzteren auch in Pflüg. Arch. 58 (1894).

[4]) Waldenburg, Die pneumatische Behandlung. 2. Aufl. Berlin 1880. S. 573 ff.

Auch das Blut zeigte in verschiedenen an Menschen und Säugetieren ausgeführten Untersuchungen übereinstimmend Veränderungen bei längerem Aufenthalt in komprimierter Luft.

Ein Verbleiben von mehreren Stunden täglich unter einem Druck von etwas über 3 Atmosphären führte bei Caissonarbeitern, wie Friedrich und Tausk, sowie Heller, Mager und v. Schrötter[1]) feststellten, zu keinen Abweichungen von der Norm. Diese wurden aber von Ssolowzowa[2]) gefunden an Caissonarbeitern, die schon längere oder kürzere Zeit bei den Caissons tätig gewesen waren. Bei ihnen bildete sich ein anämischer Zustand heraus, wobei zwischen der Abnahme der Erythrozyten und dem Hämoglobingehalt kein Parallelismus bestand. Nach Beendigung der Arbeit trat Wiederherstellung ein, bis zu der bei lange tätig Gewesenen mehr als 1½ Monate vergehen konnten. Auch die Menge der verschiedenen Leukozytenformen änderte sich.

An Hunden und einem Affen, die sich mehrere Monate in Caissons bei etwa 2 Atmosphären Überdruck aufhielten, fand A. Bornstein[3]) ebenfalls Abnahme der Blutzellenzahl und der Hämoglobinmenge. Dabei ergab die Bestimmung des Gesamthämoglobins und der Blutmenge, daß sich eine Hydrämie ausgebildet hatte mit einer mäßigen Herabsetzung des prozentischen Hämoglobingehaltes. — An Tauben konnte Bornstein Blutveränderungen durch Preßluft nicht erzielen.

Die Abnahme der Zellenzahl und der Hämoglobinmenge konnte Guschtscha[4]) an Kaninchen bestätigen, die er bis zu 17 Tagen in Caissons hielt. Auch er gibt an, daß ein Parallelismus zwischen den Veränderungen beider Faktoren nicht bestand.

Vielleicht bietet die Anämie der Bergarbeiter eine Analogie zu diesen Beobachtungen und hängt gleichfalls mit der Luftdruckerhöhung in tiefen Bergwerken zusammen.

Klimatisch viel bedeutsamer sind die Wirkungen der Luftdruckerniedrigung. Praktisch kommen sie in Betracht beim Aufenthalt im Hochgebirge, bei Ballonfahrten und bei Fahrten im Flugzeug. In allen diesen Fällen äußert sich allerdings die Luftdruckwirkung nicht rein, da die zustandekommenden Effekte zugleich auch von anderen Klimafaktoren mit beeinflußt werden: von der Strahlungsenergie, von den Temperaturverhältnissen, von den Luftbewegungen. Die reine Luftdruckwirkung ergibt sich auch hier aus den in pneumatischen Kammern angestellten Versuchen.

Am Menschen sind solche mit besonderer Berücksichtigung von Atmungschemismus und Blutumlauf in größerem Maßstabe zuerst von Loewy[5]) ausgeführt worden. Das Hauptergebnis war, daß beide durch Druckherabsetzung nicht geändert werden, solange diese nicht zu Sauerstoffmangel im Körper führt. Bestätigt wurden die Ergebnisse dieser Versuche, in denen das Verweilen unter Luftverdünnung einige Stunden dauerte, durch solche von Hasselbalch und Lindhard[6]). Sie verbrachten bis zu 14 Tagen in ihrer Kammer unter Luftverdünnung bis zu 450 mm Barometerdruck. Eine Änderung des Gaswechsels trat nicht ein. Auch die vom Herzen pro Minute ausgeworfene Blutmenge, das sog. Minutenvolumen, zeigte keinerlei Änderung. Als solche übt die Druckverminderung, abgesehen von ihrem physikalischen Einfluß auf die in den Körperhöhlen eingeschlossenen Gase — Darmgase, Gas in der Paukenhöhle, unter Umständen auch Stirnhöhle —, abgesehen ferner von der Atemmechanik und vielleicht von einzelnen Faktoren des Blutkreislaufes, keinerlei Wirkung.

Die Körpergase dehnen sich entsprechend der Luftverdünnung aus und führen damit zu weiteren Veränderungen, wie Hochdrängung des Zwerchfelles, Vortreiben

---

[1]) Heller, Mager, v. Schrötter, Luftdruckerkrankungen. Leipzig und Wien 1900.

[2]) Ssolowzowa, Wratschenaja Gaz. 1914 (nach Zentralbl. f. Biol. Bd. XVI).

[3]) Adele Bornstein, Pflüg. Arch. 138 S. 609 (1911).

[4]) Guschtscha, Über den Einfluß des erhöhten Atmosphärendruckes auf das Blut von Kaninchen. Petersburger Dissert. 1913 (nach Zentralbl. f. Biol. XVI).

[5]) A. Loewy, Respiration und Zirkulation bei Änderungen des Druckes usw. Berlin 1895.

[6]) Hasselbalch und Lindhard, Biochem. Zschr. 68 S. 265 u. 295 (1915).

des Trommelfelles mit den daraus sich ableitenden Erscheinungen und Beschwerden.

Der Puls erwies sich verschieden beeinflußt; oft fand sich Frequenzzunahme und Abnahme der Spannung. Bei Waldenburg Zunahme der Spannung und Füllung des Arterienrohres. Der Blutdruck war entweder ungeändert oder gesunken[1]. Die Blutstromgeschwindigkeit änderte sich nicht. — Bei einem kritischen Vergleich muß man schließen, daß die Luftdruckherabsetzung auch auf die Blutkreislaufverhältnisse erst dann verändernd einwirkt, wenn durch sie die Sauerstoffzufuhr ungenügend wird.

Tritt dieser Fall ein, dann allerdings machen sich sehr wesentliche Veränderungen in den Körperfunktionen bemerkbar, die aber nur mittelbar durch die Luftdruckerniedrigung, direkt durch den Mangel an Sauerstoff herbeigeführt werden und demnach auch in sauerstoffarmer Luft unter Atmosphärendruck eintreten.

Die Grenze der Luftdrucksenkung, bei der die Erscheinungen des Sauerstoffmangels eintreten, ist individuell verschieden; denn sie ist abhängig vom Umfange des Sauerstoffverbrauches und von der Sauerstoffmenge, die den Geweben zur Verfügung gestellt wird. Diese aber hängt ihrerseits ab von der Sauerstoffspannung in den Lungenalveolen, von der Hämoglobinmenge und von der Geschwindigkeit der Blutströmung.

Wie Loewy (a. a. O.) gezeigt hat, treten praktisch Unterschiede im Sauerstoffverbrauch an Bedeutung zurück gegenüber solchen im Sauerstoffangebot, und dieses regelt sich in erster Linie — bei gesunden Menschen — nach dem Atemmechanismus: eine wenig umfängliche und flache Atmung führt zu einer niedrigeren alveolaren Sauerstoffspannung, als eine reichlichere Lungenventilation mit tiefen Atemzügen. Im letzteren Falle wird die Grenze der alveolaren Sauerstoffspannung, bei der nicht mehr genügend Sauerstoff vom Hämoglobin aufgenommen werden kann, bei einem niedrigeren Luftdruck erreicht werden als bei ersterem. Das ist klimatotherapeutisch wichtig, denn danach richtet sich die Höhe, die Gesunde noch ohne Schaden aufsuchen können. Handelt es sich um Kranke, deren Zirkulation abnorm verlangsamt ist oder die an anämischen Zuständen leiden, so ist die Fähigkeit, Höhenaufenthalt zu ertragen, noch weiter herabgesetzt.

Von praktischer Bedeutung ist die Widerstandskraft gegen Luftverdünnung für den Ballonfahrer und den Flieger. Für letzteren sind deshalb besondere Prüfungsmethoden vorgeschrieben, die seine Eignung für den Fliegerberuf ausweisen sollen und unter denen die auf die Beschaffenheit seiner Atmung und seines Kreislaufes bezüglichen eine Rolle spielen[2].

Einige Beispiele mögen das Gesagte erläutern. Sie sind Versuchen von Loewy entnommen.

Tabelle 12.

Atemvolumen pro Minute ccm	Atemtiefe ccm	Sauerstoffverbrauch pro Minute ccm	Alveolarer Sauerstoffgehalt in Prozenten
4915,0	327,7	205,3	13,4
5483,3	322,5	230,5	14,03
7283,3	416,2	211,0	15,08
8328,6	406,2	226,0	15,46
10014,3	435,4	221,3	15,77

[1]) Literatur bei Loewy, Respiration und Zirkulation usw., Berlin 1895.
[2]) Genaueres darüber bei Loewy, Jahresber, üb. d. gesamte Physiol. 1920.

Die Zahlen der Tabelle zeigen, wie die Atemmechanik — Umfang und Tiefe der Atmung — wesentlicher ist für die Höhe des Sauerstoffgehaltes in den Alveolen, als der Sauerstoffverbrauch. Hier handelte es sich um Atmung atmosphärischer Luft. Wie erheblich aber bei Atmung sauerstoffarmer Luft die Höhe der Sauerstoffmenge in den Alveolen bei gleichem Sauerstoffgehalt der Atmungsluft auseinanderrücken kann durch Verschiedenheiten der Atmung, ergibt sich aus folgenden Werten:

Tabelle 13.

	Sauerstoffgehalt der Alveolarluft Prozent	Sauerstoffgehalt der Inspirationsluft Prozent	Ventilationsgröße pro Minute Liter	Bemerkungen
a 1	7,6	16,49	5,3	Ungünstige Atmung
a 2	7,3	10,58	13,7	Günstige Atmung
b 1	4,41	12,1	5,5	Ungünstige Atmung
b 2	4,47	7,81	11,4	Günstige Atmung

Der alveolare Sauerstoffgehalt war also in a 1 und 2 fast gleich, trotzdem die Inspirationsluft um 5,91% in ihrem Sauerstoffgehalt verschieden war; in b 1 und 2 wich sie bei gleichem alveolaren Sauerstoffgehalt um 4,29% voneinander ab. So starke Unterschiede konnten also durch eine gesteigerte Ventilation (Stab 3) ausgeglichen werden. 5,91% O bedeuten aber 214 mm Barometerdruck, 4,29% O = 155 mm, d. h. also, daß das Blut bei günstigem Atmungsmodus in den Lungen mit einer Atmosphäre in Berührung kam, die $^1/_5$ bis fast $^1/_3$ mehr Sauerstoff führte als bei ungünstigem.

Die Grenze der alveolaren Sauerstoffspannung, bei der stärkere Beschwerden einsetzen, insbesondere eine gewisse Benommenheit, liegt nach Loewys Befunden, die von Boykott und Haldane[1]) bestätigt wurden, bei 30—35 mm Hg, gegenüber 100—110 mm in der Norm. Dieser Alveolardruck bildet sich je nach dem Atmungsmodus und dem Sauerstoffverbrauch bei einem Barometerdruck von 350—500 mm aus, entsprechend einer Höhe von etwa 3300—6000 m.

Die Art der Beschwerden wechselt individuell und je nachdem sie bei Ruhe oder Muskeltätigkeit zustandekommen. Sie werden genauer im Kapitel „Höhenklima" besprochen werden[2]).

Kommt es zum Eintritt von Sauerstoffmangel durch Sinken der Sauerstoffspannung in den Lungenalveolen, so treten, bevor die Spannung noch auf 35 mm Hg hinabgegangen ist, Vorgänge im Körper auf, die dem Sauerstoffmangel entgegenzuwirken geeignet sind. Sie liegen auf dem Gebiete der Atmung, die gesteigert wird, und auf dem des Blutes, dessen Zellenzahl und Hämoglobingehalt zunimmt. Vielleicht wird auch die Blutströmung beschleunigt. Am bedeutungsvollsten ist die Zunahme der Blutzellenzahl und des Hämoglobins, die bei längerem Aufenthalt allmählich sich ausbildet, und in Höhen, die noch menschliche Siedelungen tragen, 40—50% der normalen Menge ausmachen kann. Auch auf diese Vorgänge wird bei Besprechung des Höhenklimas näher eingegangen werden.

[1]) Boykott und Haldane, Journ. of physiol. 37 S. 357.

[2]) Vgl. darüber auch Zuntz, Loewy, Müller, Caspari, Höhenklima und Bergwanderungen. Kap. XIX. Berlin 1906.

Eigentümliche Veränderungen sahen Sundström und Bloor[1]) am Blute von Kaninchen, die sie für mehrere Stunden unter einen Barometerdruck von 350—450 mm verbracht hatten. Ihr Blutzellvolumen nahm ab um 12,1% bei 350 mm, um 3—8% bei 450 mm Barometerdruck. Zugleich war die Lipoidphosphormenge ihres Blutes vermindert.

6. Luftelektrizität und Radioaktivität.

Daß die Atmosphäre elektrische Eigenschaften besitzt, ist seit der Mitte des 18. Jahrhunderts bekannt[2]). Aber erst seit den 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts wurde durch Franz Exner[3]) eine systematische Erforschung der Luftelektrizität eingeleitet. Seitdem sind viele Einzelbeobachtungen an den verschiedensten Punkten der Erde, auch im Luftballon, vorgenommen worden, die einen Einblick in die Bedingungen für das Verhalten und die Schwankungen der Luftelektrizität gewähren[1]), aber fortlaufende Bestimmungen, die sich über Jahre erstrecken, sind erst an einem Orte, nämlich in Davos von Dorno[4]), durchgeführt worden.

Man muß scheiden zwischen der elektrischen Spannung der Luft, dem sog. Potentialgefälle gegenüber dem Erdboden, und der elektrischen Leitfähigkeit der Luft. Das Produkt beider gibt den dauernd von der Erdoberfläche in die Atmosphäre gehenden elektrischen Vertikalstrom.

Das Potentialgefälle der Luft wird fast stets positiv gefunden, nur ausnahmsweise ist es negativ, dann z. B., wenn durch Winde die Atmosphäre mit Staub erfüllt wird oder wenn negativ geladene Wolken sich gebildet haben. Wie Dorno[4]) für Davos fand, besteht ein charakteristischer Jahres- und Tagesgang, wobei die Leitfähigkeit das entgegengesetzte Verhalten zeigt wie das Potentialgefälle. Auch der Vertikalstrom zeigt einen jährlichen und täglichen Ablauf; der tägliche ist dem Gange der Sonnenstrahlung gerade entgegengesetzt.

Die Stärke des Potentialgefälles und der Leitfähigkeit hängt von mannigfachen meteorologischen und irdischen Fakten ab. Von Einfluß sind die Sonnenstrahlung, Winde, Niederschläge, besonders Schnee. Ferner die Höhenlage über dem Meere.

Mit der Höhe sollte nach älteren Bestimmungen das Potentialgefälle steigen, ebenso die Ionisation, wobei zugleich eine sog. unipolare Leitfähigkeit auftreten sollte, d. h. die Erscheinung, daß die eine Art, hier die positiven Ionen, die andere, also die negativen, überwiegt, während gewöhnlich beide in gleicher Stärke wirksam werden. Dasselbe wurde beobachtet von v. Traubenberg[5]) am Vesuv bei vulkanischen Entladungen und von Knoche[6]) auf Teneriffa anderswo. Die in der Gletscherregion des Hochgebirges ausgeführten Bestimmungen scheinen jedoch nach neueren Erfahrungen methodisch nicht immer einwandfrei gewesen zu sein.

Demgegenüber gibt Dorno für Davos an, wo er mehrere Jahre fortlaufend das elektrische Verhalten der Luft registrierte, daß bei einem ganzjährigen Vergleich der gefundenen Werte mit synchronen ganzjährigen Werten in der Ebene (Potsdam) sich herausstellt, daß die Leitfähigkeit in der Höhe steigt — auf das Dreifache —, während das Potentialgefälle, die Spannung also, um den gleichen Betrag sinkt. Das heißt, die Stromstärke ist im Gebirge die gleiche wie in der Ebene, aber der Strom hat nur den dritten Teil der Spannung.

---

[1]) Sundström und Bloor, Journ. of biol. chem. 45, 153 (1920).

[2]) Eine kritische Übersicht findet sich bei Zuntz, Loewy, Müller, Caspari, Höhenklima und Bergwanderungen. Kap. II. Berlin 1906. — Theoretische Ausführungen bei Korff-Petersen, Zschr. f. Hyg. 80 S. 505 (1915).

[3]) Franz Exner, Ber. d. Wien. Akad. d. Wissensch. 93 (1886).

[4]) C. Dorno, Licht und Luft des Hochgebirges. Braunschweig 1911.

[5]) v. Traubenberg, Physikal. Zschr. Bd. 4 (1903).

[6]) W. Knoche, Ebenda Bd. 6 (1905).

Für die elektrische Leitfähigkeit ist nun aber von besonderer Bedeutung die Radioaktivität der Atmosphäre und des Erdbodens und der mehr oder minder leichte Übertritt der Bodenluft in die Atmosphäre.

Radioaktive Stoffe wirken ebenso, wie es von den ultravioletten Strahlen, den Röntgenstrahlen, der Hessschen Strahlung bekannt ist, ionisierend auf die Luft, steigern also ihre Leitfähigkeit. Der Erdboden verhält sich radioaktiv, ebenso die Bodenluft, beide in höherem Maße als die Atmosphäre. Dabei spielt die Bodenart eine wesentliche Rolle, wie besonders aus zahlreichen Versuchen von Elster und Geitel sich ergeben hat. Stark radioaktiv erwiesen sich der Löß (auf Capri), mannigfache Sedimente, Schlammablagerungen (Fango von Battaglia), auch manche Mineralquellen. Darüber sind bereits im ersten Bande (S. 98 und 339) Mitteilungen gemacht.

Der Unterschied in der Radioaktivität zwischen Atmosphäre und Bodenluft kann sehr erheblich sein. So übertrifft der Emanationsgehalt der Bodenluft den der Atmosphäre in Potsdam um das 100fache; in München war erstere 6mal emanationsreicher als in Potsdam, noch 6mal größer in Freiburg in der Schweiz, und in Davos noch 3mal erheblicher; in Davos also etwa 100mal emanationsreicher als in Potsdam[1]).

Immerhin handelt es sich bei der Atmosphäre um nur geringe Elektrizitätsmengen, die nur 1 Billiontel von den des elektrischen Wasserbades betragen.

Über die Wirkung der Luftelektrizität wissen wir nichts Sicheres. Von manchen Seiten wird ihr eine erhebliche Einwirkung auf die Lebewelt zugesprochen, von anderen jede Wirkung geleugnet. Besondere Beachtung fand das luftelektrische Verhalten im Höhenklima, in dem es, wie erwähnt, besonders hervortritt, und man suchte es mit dem Entstehen der Bergkrankheit in Beziehung zu bringen. Bei Zuntz, Loewy, Müller, Caspari[2]) finden sich Angaben, aus denen hervorgeht, daß schon in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts von verschiedenen Hochgebirgsreisenden der Ausbruch der Krankheit mit der Luftelektrizität in Verbindung gebracht wurde, allerdings ohne Beweise. Die eben genannten Autoren führen von ihrer eigenen Expedition Messungen der Luftionisation an, die man im gleichen Sinne verwerten könnte. Ebenso Knoche aus den südamerikanischen Hochgebirgen[3]). Jedoch scheinen die Beobachtungen von Durig und Zuntz[4]) sowie von Durig, Reichel, Kolmer[5]) am Monte Rosa und von Ducceschi aus den Anden[6]) zu beweisen, daß ein Zusammenhang zwischen der Luftionisation und dem Potentialgefälle mit dem Zustandekommen der Bergkrankheit nicht besteht.

Korff-Petersen[7]) hat besondere Versuche zur Entscheidung der Frage ausgeführt, ob gesteigerte Leitfähigkeit der Luft Wirkungen auf den menschlichen Organismus ausübe. Er ließ seine Versuchspersonen sich in Glaskammern aufhalten, in die er stark ionisierte Bodenluft hineinpumpte. Die subjektiven Angaben derselben waren nicht eindeutig, Störungen des Wohlbefindens waren nicht festzustellen, Pulsfrequenz und Blutdruck wurden nicht geändert.

Weitere Untersuchungen stammen von Grabley[8]) und Kunow[9]); deren An-

---

[1]) Dorno, Die Klimatologie im Dienste der Medizin. Braunschweig 1920.

[2]) Zuntz, Loewy, Müller, Caspari, a. a. O. S. 462.

[3]) W. Knoche, B. kl. W. 1910.

[4]) Durig und Zuntz, Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1904. Supplem. S. 417.

[5]) Durig, Denkschr. d. Wien. Akad. 86 (1911).

[6]) Ducceschi, Trabajos del laborad. de fisiolog. Cordoba 1910.

[7]) Korff-Petersen, Zschr. f. Hyg. 80 S. 505 (1905).

[8]) Grabley, Zschr. f. klin. Med. 71.

[9]) Kunow, Zschr. f. Hyg. 80 S. 485 (1915).

ordnung jedoch weicht von den natürlichen Verhältnissen ziemlich erheblich ab.

Grabley führte, in Nachahmung der Verhältnisse des Hochgebirges, seinen Versuchspersonen mittels Influenzmaschine starke negative elektrische Ladung zu, und erhöhte die positive Ladung der Luft durch Radiumemanation. Dabei kam allerdings nicht die hohe Unipolarität zustande, die im Höhenklima häufig gefunden wurde. Er gibt an, daß es unter diesen Umständen zu vasomotorischen Veränderungen, zu Unruhe und Herzklopfen kam.

In ähnlicher Art ging Kunow[1]) vor. Er benutzte hochgespannten Kathodenstrom. Die von diesem gelieferten negativen Elektronen strömten in einen Metallring über und von dort durch die Luft auf das unter dem Ringe sitzende Versuchsindividuum. Außer dem subjektiven Verhalten wurden Pulsfrequenz und Blutdruck bestimmt. — Die Ergebnisse waren wechselnd. Von vasomotorischen Veränderungen wurden beobachtet starke Rötung des Gesichtes bei mehreren Personen. Daneben: Müdigkeit bis zum Einschlafen, Kältegefühl, Beklemmungen, Kopfschmerz. Bei einer Person gesteigertes Wohlbefinden. In mehreren Fällen war der Blutdruck herabgesetzt.

Bis heute kennen wir danach keinerlei Tatsachen, die einen eindeutigen und gesetzmäßigen Einfluß der Luftelektrizität auf die physiologischen Vorgänge beim Menschen beweisen. Die Angabe von Arrhenius[2]), daß der Eintritt der Menstruation durch den Gang der Luftelektrizität — die mit dem Mondlauf in Beziehung steht — bedingt werde, kann nicht als gesicherte Erfahrung angesehen werden. —

Besser unterrichtet sind wir über die Wirkung der radioaktiven Stoffe auf den Organismus. Das besondere Interesse muß sich der Emanation zuwenden, die wie ein Gas mit der Atmung in den Körper eintreten kann. Gudzent[3]) hat die Emanationsmenge, die nach seiner Einatmung sich im Blute ansammelt, genauer verfolgt. Das Blut reichert sich allmählich damit an, wobei nach Gudzents Ergebnissen die Emanation eine Art dissoziabler Verbindung mit Blutbestandteilen eingehen müßte, während nach Pleschs[4]) mit Blut in vitro angestellten Versuchen nur eine physikalische Lösung bestehen soll.

Die aufgenommene Emanation übt nun eine deutliche Wirkung im Körper aus. Die von Loewy und Plesch[5]) bei 1¼stündigem Aufenthalt in einem Emanatorium mit einem Emanationsgehalt von 20000 Macheeinheiten angestellten Versuche konnten für den Menschen keine Änderung des Gaswechsels feststellen, auch keinen Einfluß auf die Sauerstoffbindung durch das Hämoglobin, wohl aber eine auf die Vorgänge beim Blutumlauf. Hier erwiesen sich zwar die vom Herzen ausgeworfene Blutmenge und das Herzschlagvolumen ungeändert, aber der Blutdruck war deutlich beeinflußt. Der Maximaldruck war in 8 unter 10 Fällen erniedrigt, in 7 auch der Mitteldruck, bei 4 neben dem Maximal- auch der Minimaldruck.

Daraus ergibt sich eine Abnahme der Herzarbeit unter der Emanationswirkung für die große Majorität der Fälle.

Weitere Versuche von Loewy[6]) an Hunden bestätigten die Beeinflussung des Blutdruckes. In ihnen war gleichfalls eine Herabsetzung des Mitteldruckes fest-

[1]) Grabley, Zschr. f. klin. Med. 71.
[2]) Arrhenius, Skand. Arch. f. Physiol. 8 (1898).
[3]) Gudzent, Verhandl. d. physiol. Gesellsch. zu Berlin 1911 (abgedruckt in M. Kl. 1911).
[4]) J. Plesch, Ebenda.
[5]) Loewy und Plesch, B. kl. W. 1911 Nr. 14.
[6]) A. Loewy, B. kl. W. 1912 Nr. 3.

zustellen, die aber mehr durch Sinken des diastolischen als des systolischen Druckes zustande kam. Das bewirkte zugleich eine Vergrößerung der Pulsamplitude. Zugleich war die Blutverteilung geändert, indem die Hirngefäße sich erweitert, die Lungengefäße sich verengt erwiesen. Gemeinsam war jedoch in beiden Organen die Erschlaffung der Gefäßwände, die das charakteristische Merkmal der Radiumemanationswirkung darstellt. Sie ist vom Blutdruck unabhängig.

Eine Einwirkung auf das Herz war in Loewys Versuchen nicht zu erkennen. Daß aber auch dessen Tätigkeit geändert wird, wenn ihm größere Emanationsmengen zugeführt werden, geht aus Versuchen von Maaß[1]) am Froschherzen hervor, das mit emanationshaltiger Flüssigkeit durchströmt wurde. Es kam dabei zu einer Abnahme der Pulsfrequenz, Verkleinerung der Systole, Verminderung des ausgeworfenen Minutenvolumens, Auftreten von Herzarrhythmien.

Knoche[2]) beobachtete an sich selbst das Auftreten der Bergkrankheit in den Anden an Orten mit stark radioaktiver Atmosphäre, trotzdem diese mehr als 1000 m tiefer lagen (4500 m) als andere, an denen er noch nicht durch die Dünnheit der Luft bergkrank wurde (5600 m).

Ob und in welchem Maße etwa seine Herztätigkeit beeinflußt war, wurde nicht festgestellt. Immerhin wäre auf Grund der vorstehenden Erfahrungen an solche Wirkungen zu denken und sie müßten den Gegenstand künftiger Untersuchungen bilden.

7. Boden und Klima.

In den vorhergehenden Abschnitten ist mehrfach der Wechselwirkung, in der Boden und Atmosphäre zueinander stehen, Erwähnung getan worden. Der Klimabegriff erschöpft sich nicht in dem Verhalten der letzteren, vielmehr haben an dem Charakter des Klimas die Bodenverhältnisse einen erheblichen Anteil. Infolgedessen werden auch die physiologischen Wirkungen des Klimas durch Bau und Gestaltung des Erdbodens beeinflußt. Das gilt nicht nur, wie S. 59 ff. ausgeführt, für die seelischen Wirkungen, vielmehr werden auch die körperlichen Funktionen diesen Einfluß erfahren.

Dies geschieht im wesentlichen durch die Wärmeverhältnisse des Bodens. Von ihnen abhängig ist der Umfang der Ausstrahlung von Wärme seitens der Bodenoberfläche, wobei sowohl die in der Erde entstehende, mehr noch die ihr durch Strahlung von seiten der Sonne und der Atmosphäre zufließende in Betracht kommt. Von Bedeutung für die Bodenwärme sind vielerlei Umstände: die Art der den Boden bildenden Mineralien, ihre Korngröße, der mit letzterer zusammenhängende Luftgehalt, die Farbe, endlich nicht zum wenigsten der Wassergehalt des Bodens. Mit letzterem in Verbindung stehen die Unterschiede, die ein kahler und ein mit Pflanzenwuchs bedeckter Boden darbietet.

Der von der Sonne tagsüber bestrahlte Boden erwärmt sich mehr als die über ihm befindliche Luft. Es wurde schon S. 28 erwähnt, daß die Bodentemperatur die der Luft unter Umständen ganz erheblich übertreffen kann. So gibt Hann[3]) an, daß in Irkutsk (52° nördl. Br.) im Sommer die Bodenwärme die der Luft am Mittag um 12½°, im Tagesmittel um 3½° übertrifft, und in Tiflis um 27° des Mittags, um 7,6° im Tagesmittel. Differenzen, wie die letzte, kommen nur in warmen Klimaten und bei trockenem, kahlem Boden vor. Am höchsten erwärmt sich daher der Boden

[1]) Th. A. Maaß, Verhandl. d. Berliner physiol. Gesellsch. 1911 (abgedruckt in M. Kl. 1911).
[2]) W. Knoche, B. kl. W. 1910 Nr. 17.
[3]) Hann, Handb. d. Klimatologie. 3. Aufl. Bd. I S. 37.

im Wüstenklima. In Ägypten fand Pecnik um 2 Uhr nachmittags eine Lufttemperatur von 30,2°, eine Bodentemperatur von 61°, also eine Temperaturdifferenz von 30,8° (vgl. Kapitel „Wüstenklima").

Am leichtesten erwärmt sich Sandboden, weniger Ton- und Lehmboden. Das hängt mit ihrem Wassergehalt zusammen. Je feuchter ein Boden, um so weniger erwärmt er sich unter gleichen Bedingungen, da das Wasser die Wärmeleitung und die spezifische Wärme des Bodens erhöht und durch Verdunstung Wärme bindet. Daher kommt es zu einer geringeren Erwärmung bei mit Pflanzen bewachsenem Boden. — Für die Bedeutung der Farbe spricht die Tatsache, daß zwischen hellen und dunklen Bodenarten Temperaturunterschiede bis zu 7° gefunden worden sind.

Die Beschaffenheit des Bodens ist klimatisch wichtig auch in Hinsicht auf die mehr oder weniger leichte Trocknung des Bodens nach Durchnässung. Sie hängt von der Durchlässigkeit des Bodens für Wasser ab, und diese von der Lockerheit der Bodenbestandteile.

Am meisten wasserdurchlässig sind Kies und Sand, weniger Lehm, Ton, am wenigsten Moor. Ein lange feuchtbleibender Boden ist hygienisch ungünstig; solange er feucht ist, ist er kalt und beeinträchtigt den Aufenthalt im Freien. Zudem vermag er bei Sinken der Lufttemperatur zu Nebelbildung zu führen. Nebelbildung tritt infolgedessen auch leicht über pflanzenbewachsenem Boden — Wiesen — auf.

Die aufgenommene Wärme wird nun vom Boden zu einem größeren oder geringeren Teile wieder ausgestrahlt, und die ausgestrahlte Wärme bildet einen eigenen Wärmefaktor und unterstützt die von der Sonne direkt herkommende Strahlungsmenge. Darauf wurde schon S. 28 hingewiesen, wo auch zahlenmäßig ihre Bedeutung gezeigt wurde. Dem Umfange nach ist, wie die Erwärmung, so auch die Wärmeabgabe des Bodens je nach der Bodenart verschieden. Am intensivsten ist sie bei kahlem, trockenem, hellem Boden. Hier ist ihr Einfluß auf die Erwärmung bei Tage und auf die Abkühlung bei Nacht am stärksten. Es kommt also zu den größten täglichen Temperaturschwankungen.

Die terrestrische Strahlung ist auch die Ursache dafür, daß die täglichen Temperaturmaxima und -minima nicht mit dem Höchst- und Tiefststand der Sonne zeitlich zusammenfallen. Denn die durch die Sonnenbestrahlung bewirkte Temperaturerhöhung des Bodens (und der auf ihm befindlichen Gegenstände) führt zu einer so starken Wiederabgabe von Wärme, daß im kontinentalen Klima das Maximum der Lufttemperatur erst zwischen 2 und 3 Uhr nachmittags fällt, und das Temperaturminimum erst kurz vor Sonnenaufgang. Näheres hierüber findet sich in dem Abschnitt von Alt im ersten Bande S. 454.

Die terrestrische Strahlung stellt ein klimatisch günstiges Moment dar, wenn durch sie niedrige Lufttemperaturen auf eine für unser Wärmegefühl angenehme und uns zuträgliche Höhe gehoben werden, sie wirkt aber andererseits ungünstig, wenn an sich schon hohe Lufttemperaturen durch sie auf einen noch höheren Grad gebracht werden, der auf unser Befinden schädlich wirken kann.

Das ist im Hochsommer der Fall und zeigt sich im ausgesprochensten, objektiv nachweisbaren Maße in der Großstadt. Hier sammeln neben dem Boden die Mauern und Wände der Häuser die Wärme, und ihre Rückstrahlung führt zu einer deutlichen Erhöhung der Lufttemperatur bei Tage und mehr noch in den ersten Nachtstunden gegenüber der freien Umgebung.

So beträgt für Berlin die Temperaturerhöhung des Tagesmittels auf das Jahr berechnet +0,5°, wobei sie im Winter nur 0,3°, im Herbst 0,4°, im Frühling und Sommer 0,6° höher liegt als die der Umgebung.

Deutlicher noch geht die höhere Temperatur der Großstadt aus der folgenden Tabelle 14 hervor, die zeigt, wie im Hochsommer die Anzahl der Pentadenmittel mit höheren Temperaturen in Berlin die in dem ihm nicht fernliegenden Frankfurt a. O. erheblich überwiegt[1]).

Tabelle 14.
Anzahl der Pentadenmittel im Juni bis August.

von	Frankfurt a. O.	Berlin
17—18°	8	4 (dazu 2 von 16,9°)
18—19°	5	8
19° und mehr	1	4

Die Lufttemperaturen in Berlin stellen sich den in einem der heißesten Orte Süddeutschlands, in Karlsruhe, gefundenen vollkommen an die Seite, während die seiner Umgebung hinter der von Karlsruhe zurückbleiben.

Das Verhalten der vorstehend angeführten Mitteltemperaturen gibt aber noch kein zutreffendes Bild von der Bedeutung der Wärmesammlung und Wiederabgabe durch den Boden und seine Bauten. Klimatisch wichtig ist nämlich, daß das in den Stunden des Höchststandes der Sonne, in der Mittagszeit, aufgenommene Wärmequantum in den Nachmittag- und Abendstunden wieder abgegeben wird und daß deren Temperatur besonders auffällig gesteigert ist. In Berlin liegt sie im Sommer um 9 Uhr abends um 1,2° höher als in der Umgebung Berlins.

Diese mangelnde Abkühlung wirkt hygienisch ungünstig, es kommt in der Stadt nicht zu der Erfrischung, die man auf dem Lande durch die stärkere Temperatursenkung erfährt, auch wird dadurch bei vielen Menschen der Schlaf beeinträchtigt.

Besonderheiten treten auf, wo es sich nicht um ebenen Boden handelt, vielmehr um gebirgigen. Dann spielt die Neigung der Bergwände und ihre Orientierung nach den Himmelsrichtungen eine wichtige Rolle, da Intensität und Dauer der Sonnenbestrahlung und damit der Bodenerwärmung von ihnen abhängen. Am ungünstigsten gestellt ist nördliche Orientierung der Bergwände. Das ist für die Wahl des Aufenthaltsortes wichtig zumal in den Herbst- und Wintermonaten, in denen der Umfang der Sonnenstrahlung einen besonders wichtigen Wärmefaktor darstellt, der, wie früher schon erwähnt (S. 28), einen Ersatz für die niedrige Lufttemperatur abgibt und den Genuß des Winterklimas ohne besondere Fürsorge für die Warmhaltung des Körpers ermöglicht.

Neben der Exposition zur Sonne spielt im Gebirge klimatisch auch die Lage eines Ortes eine Rolle, je nachdem es sich um einen Talboden handelt, wobei wieder die Richtung des Tales, die Lage seines Abschlusses, seine Form — flache Mulde oder schmale Einsenkung — von Bedeutung sind, oder um eine Berglehne, oder um ein Plateau bzw. um eine Bergkuppe.

Diese Punkte sind schon von Alt in Bd. I dieses Werkes (S. 488 ff.) besprochen, auf dessen Ausführungen verwiesen sei. —

Ein kurzes Eingehen erfordert aber seiner Bedeutung als klimatischen Elementes wegen noch die Rolle, die die Vegetation, besonders der **Wald,** für die Gestaltung des Klimas spielt.

Er wirkt in verschiedener Weise auf seine Beschaffenheit[2]). Zunächst ist die

[1]) Dove und Frankenhäuser, Deutsche Klimatik. S. 86. Berlin 1910.
[2]) Vgl. Hann, Handb. d. Klimatologie. 3. Aufl. Bd. I S. 186.

Lufttemperatur im Walde und in seiner Umgebung niedriger als im freien Felde. Das beweist, daß es sich nicht nur um den Effekt der Abhaltung der Sonnenstrahlung handeln kann, denn die Messung geschieht ja an beiden Orten im Schatten. Dabei konnte Hann in der Umgebung von Wien feststellen, daß bemerkenswerterweise die Temperaturerniedrigung der Luft in den unter dem Einfluß des Wiener Waldes liegenden Orten nicht etwa in den Stunden der höchsten Wärme am bedeutendsten ist, vielmehr in den Morgen- und mehr noch in den Abendstunden. Sie betrug nämlich im Winter um 2 Uhr mittags 0,0°, um 7 Uhr früh —0,8°, um 9 Uhr abends —0,8°, im Sommer um 2 Uhr mittags —0,2°, um 7 Uhr früh —1,1°, um 9 Uhr abends —2,3°.

In den Mittagsstunden ist also die Lufttemperatur im Walde entweder gleich der im waldfreien Lande oder — im Sommer — nur um 0,2° niedriger. Aber an Sommerabenden war sie um 2,3° niedriger temperiert. Das ist hygienisch sehr wichtig, denn die schnelle abendliche Abkühlung bringt, im Gegensatz zur Großstadttemperatur, die körperliche Frische zurück, führt zu einem schnelleren Auskühlen der Wohnräume und befördert damit den Schlaf.

Hann weist darauf hin, daß die äquatorialen Waldgebiete am Amazonenstrom in Südamerika und die des Kongogebietes in Afrika eine viel niedrigere Temperatur haben, als die waldarmen Gebiete in ihrer Nachbarschaft.

Die Ursache der temperaturherabsetzenden Wirkung liegt wohl in der durch die Belaubung gegebenen Vergrößerung der wärmeausstrahlenden Oberfläche und in der starken Wasserverdunstung durch die Baumkronen.

Übrigens wird nicht nur die Temperatur der Luft, sondern auch die des Erdbodens im Walde herabgesetzt.

Eine zweite Wirkung des Waldes bezieht sich auf die Luftfeuchtigkeit. Sie ist im Walde und in seiner Umgebung höher als im Freilande, nach Hann um 5 bis 6%, im Sommer bis zu 9%. Die Verdunstung ist im Walde herabgesetzt, so daß die Verdunstungsgröße z. B. an einer Beobachtungsstation im Elsaß (Hagenau) im Sommer (Mai—September) 88 mm in der Waldstation, und 226 mm in der Feldstation betrug, und im Jahresmittel: 147 mm in ersterer, 342 mm in letzterer.

Auch die Bodenfeuchtigkeit liegt höher; die Verdunstung aus Waldboden erfolgt in geringerem Umfange infolge der durch die Beschattung geringeren Bodenerwärmung und durch den Windschutz, der einen dritten klimatisch wichtigen Effekt des Waldes darstellt. Besonders letzterer ist geeignet, das Gesamtbild des Klimas und auch das Verhalten der Vegetation stark zu beeinflussen. In waldigen Gegenden fehlen Stürme, die im freien Gelände häufig schwere Schäden verursachen. Hann erwähnt die Schneestürme („Burane") Sibiriens, die Wirbelstürme („Blizzards") der westlichen Vereinigten Staaten, die, sei es durch extreme Kälte, sei es durch Hitze und Trockenheit, die Vegetation zu vernichten vermögen.

Vom ärztlich-klimatischen Standpunkt ist nun die Bedeutung der erhöhten Luftfeuchtigkeit und des hohen Windschutzes, d. h. der Luftruhe, verschieden, je nach dem Verhalten der übrigen klimatischen Faktoren. Bei hohen Lufttemperaturen, also im Sommer, kann beides ungünstig wirken, indem es das unangenehme Gefühl der Schwüle in uns hervorruft, dagegen bei niedrigeren Temperaturen, wie im Herbst und Spätfrühling, wird die Luftruhe sich günstig äußern, indem sie den Aufenthalt im Walde ermöglicht, während es im freien Lande mit seinen stärkeren Winden bereits zu übermäßiger Abkühlung kommen kann.

Eine weniger angenehme Folge ist mit der Fähigkeit des Waldes, das Wasser

im Boden zurückzuhalten, verbunden. Der Waldboden ist feuchter als der freie Boden. Liegen auf Waldboden führt deshalb leicht zu übermäßiger Abkühlung.

Bemerkt sei schließlich, daß Waldbestände das allgemeine klimatische Verhalten eines Gebietes auch dadurch beeinflussen, daß sie die Menge der Niederschläge steigern.

Über die Reinheit der Waldluft wird in Abschnitt C 3 gesprochen werden.

Endlich muß noch der **Bedeutung größerer Wasserflächen** für den Charakter eines Klimas gedacht werden. Erwähnt wurde schon früher der Wärmezuwachs, den die irdischen Gegenstände und die Atmosphäre durch die von der Wasseroberfläche gespiegelte Strahlung erfahren (S. 29). Erwähnung geschah auch schon der hohen Wärmeleitung des Wassers und seiner hohen spezifischen Wärme, die beide, ebenso wie die dauernde Verdunstung von der Wasseroberfläche, auf eine geringere Erwärmung der Wassermassen gegenüber der des Bodens hinwirken. Wasser gibt auch seine Wärme weit langsamer ab als fester Boden, es erwärmt die über ihm stehende Luft länger, als dies über festem Erdboden geschieht. Der verdunstende Wasserdampf kondensiert sich in der Atmosphäre, wobei Wärme frei wird, führt zur Bildung von Wolken, wodurch, wie schon S. 58 geschildert, die Intensität der die Erde treffenden Sonnenstrahlung vermindert wird. Zugleich aber setzt der hohe Wasserdampfgehalt der Luft, besonders wenn er zur Wolkenbildung geführt hat, die Wärmeausstrahlung in den Weltenraum herab.

Alle diese Momente führen dazu, daß über und in der Nähe großer Wasserflächen die täglichen Schwankungen der Lufttemperatur geringer sind als über dem Festlande. Maximum und Minimum liegen weniger weit auseinander, das Klima wird also weniger „exzessiv", als es das Landklima sonst ist.

Auch der Gang der Monatsmittel verschiebt sich derart, daß die Abnahmen der Lufttemperatur nach den Monaten der höchsten Wärmezufuhr, also im Herbst, langsamer vor sich gehen als auf dem Festlande, und daß die Monatsmittel nicht so tief sinken, wie es ohne die Gegenwart von Wasserflächen der Fall ist. So gibt sich die Wirkung des Bodensees darin kund, daß das an ihm gelegene Friedrichshafen für den Oktober eine Mitteltemperatur von 9,1°, für den Januar von —1,5° hat, während für Schaffhausen das Oktobermittel 8,4°, das Januarmittel —2,4° beträgt.

Wie Hann angibt, wird im Herbst und Winter von einem Landsee für die gleiche Fläche ca. 15mal mehr Wärme abgegeben als von festem Boden.

Landseen wirken demnach im Wesen ebenso, nur dem Grade nach weniger, auf das Klima, wie es in größtem Ausmaße das Meer tut. Über und an ihm ist die größere Gleichmäßigkeit des Klimas gegenüber dem Landklima am deutlichsten, die Einengung der Temperaturextreme — der täglichen wie der monatlichen — am ausgesprochensten.

Darauf ist Alt in Bd. I S. 484 ff. näher eingegangen, und das wird vom ärztlich-klimatischen Gesichtspunkte im Abschnitt Seeklima weiter erörtert werden.

C. Die chemischen Klimafaktoren.

Gegenüber den bisher ausschließlich behandelten physikalischen Klimafaktoren treten für die Bewertung eines Klimas die chemischen vollkommen in den Hintergrund. Die in der Atmosphäre konstant enthaltenen und sie zusammensetzenden chemischen Stoffe sind überhaupt bedeutungslos für den Charakter eines Klimas, wenn wir von der in sehr hohen Regionen — von etwa 3000 m an — allmählich ungenügend werdenden Sauerstoffmenge absehen. Eine Rolle spielen eigentlich nur die nichttypischen, nur gelegentlich vorkommenden Bestandteile. Es sind das Bei-

mengungen, die, abgesehen vom Ozon, fast ausnahmslos Produkte menschlicher Tätigkeit darstellen, Abfälle seiner wirtschaftlichen, besonders seiner industriellen Betätigung, die sich der Atmosphäre mitteilen. Auf diese soll zum Schluß noch eingegangen werden, während für die normale Zusammensetzung der Atmosphäre im wesentlichen auf die Ausführungen von Alt in Bd. I S. 424 verwiesen werden muß.

1. Normale Bestandteile der Luft.

Hier sei nur nochmals hervorgehoben, daß die Mengenverhältnisse der die Atmosphäre zusammensetzenden Gase sich überall als fast gleich erwiesen haben. Stickstoff und Sauerstoff finden sich stets in gleichen Mengen, nur der Kohlensäuregehalt scheint in geringen Grenzen zu schwanken. Er nimmt etwas zu bei fallendem Barometerdruck und mit Sinken der Lufttemperatur. Das dürfte mit vermehrtem Austritt von Bodenluft zusammenhängen, die bei weitem reicher an Kohlensäure ist, als die Atmosphäre. Während diese im Mittel 0,03 Volumenprozent CO_2 enthält, fand erstere Fodor in Klausenburg zu 1%. Um München stellte Pettenkofer eine 20—60mal größere Menge CO_2 in der Bodenluft als in der Atmosphäre fest.

Auffallend ist, wie wenig der Kohlensäuregehalt der Luft in Großstädten von dem der Luft über dem freien Lande abweicht. Entsteht sie in ersteren doch in reichlichstem Maße durch die Atmungsvorgänge von Menschen und Tieren, durch Verwesung und Fäulnis von Abfällen aller Art, bildet sie doch einen wesentlichen Bestandteil der Verbrennungsgase, die die Endprodukte der Verfeuerung jeglichen organischen Materiales darstellen und, den Essen entweichend, sich der Luft beimischen. So fand Russel in der Straßenluft von Manchester im Mittel 0,04%, von London 0,0437%, von Glasgow 0,05%, von Sheffield 0,0385%. Bei Nebel steigt, besonders in Städten, der Kohlensäuregehalt. So wurde er fü Manchester an nebligen Tagen 0,068%, für London 0,11% gefunden.

Diese Mengen haben physiologisch keinerlei Bedeutung. Zahlreiche Versuche an Tieren und am Menschen zeigten, daß die Einatmung einer Luft mit selbst 1—3% CO_2 keinerlei deutliche Wirkung hervorruft, abgesehen von einer Steigerung der Atemgröße, die im wesentlichen durch Vertiefung ohne oder mit geringer Beschleunigung der Atmung zustande kommt. Subjektive Dyspnoe wird erst deutlich, wenn die Atmungsluft einen noch höheren Kohlensäuregehalt hat. An manchen vulkanischen Orten der Erde entströmen dem Boden aus Spalten und Rissen Gasquellen, die so reich an Kohlensäure sind, daß bei ihrer direkten Einatmung Erstickung eintreten kann. So in der „Hundsgrotte“ bei Neapel, in der „Dunsthöhle“ bei Pyrmont, im „Tal des Todes“ auf Java, im Brohltal.

Aber auch da, wo der Boden sehr reich an verwesenden organischen Substanzen ist, tritt reichlich Kohlensäure aus dem Boden in die Atmosphäre über, so über Steinkohlenflözen. — Hingewiesen sei darauf, daß eine Reihe von Mineralwässern reich an Kohlensäure ist, und daß von dieser zu ärztlichen Zwecken Gebrauch gemacht wird. So in Deutschland: Nauheim, Kissingen, Oeynhausen, Soden, Salzschlirf u. a. (vgl. Bd. II S. 64ff.), wo auch die Wirkungen der Kohlensäurebäder besprochen werden.

Die Bedeutung der Sauerstoffabnahme mit der Höhe wird im Kapitel „Höhenklima“ besprochen werden. Eine Zunahme des Sauerstoffes kommt klimatisch nicht in Betracht. Für die Technik ist sie bedeutungsvoll bei der Arbeit in Bergwerken, bei Unterwasserarbeiten in Caissons; therapeutisch kommt sie in Frage bei Verwendung der verdichteten Luft in pneumatischen Kammern.

Nur eine Abart des Sauerstoffs hat klimatisches Interesse, das von Schoenbein entdeckte Ozon. Über sein Vorkommen in der Atmosphäre hat Alt in Bd. I S. 426

die nötigen Angaben gemacht. Über seine Menge sei erwähnt, daß im Durchschnitt 1—2 mg in 100 cm Luft vorhanden sind. Sie schwankt mit den Jahreszeiten. So sind im Parke von Montsouris bei Paris gefunden worden: im Winter 1,41 mg, im Frühling 1,74 mg, im Sommer 1,84 mg, im Herbst 1,43 mg. Mit der Höhe scheint der Ozongehalt zuzunehmen; in Chamonix (1100 m Höhe) wurden 3,7 mg, auf den Grands Mulets am Montblanc (3050 m Höhe) 9,4 mg gefunden (nach Hann). Bemerkenswert ist, daß in den nordafrikanischen Wüsten eine Ozonmenge in der Atmosphäre festgestellt wurde, die den in Europa gefundenen obersten Werten entspricht.

Der Nachweis des Ozons ist kompliziert. Die früher viel benutzte Nachweismethode mit Jodkalium-Stärkekleisterpapieren ist unsicher, da auch salpetrige Säure die gleiche Reaktion mit ihm zeigt wie Ozon, und diese sich, z. B. nach Gewittern. gleichfalls in der Luft bildet. Deshalb sind alle Angaben über einen besonders hohen Ozongehalt der Luft — und sie fanden sich früher vielfach in den Prospekten von Kurorten — zweifelhaft.

Sicher ist nur, daß Waldluft besonders reich an Ozon ist, reicher als die Luft über kahlem Boden, daß die Seeluft reicher an ihm ist, als die im Innern der Kontinente, daß im Gebirge die Luft ozonreicher ist, als die im Tieflande, daß nach Gewittern der Ozongehalt vermehrt ist.

Dagegen fehlt Ozon in verdorbener Luft, in von Menschen erfüllten, geschlossener Räumen, in der Nähe faulender Stoffe. Ozonreichtum stellt demnach einen Gradmesser der Luftreinheit dar.

Vor einem halben Jahrhundert wurde dem Ozon eine hohe therapeutische Bedeutung beigelegt. Besonders auf Lender[1]) gehen die Bestrebungen zurück es auf dem Wege der Einatmung oder der Zuführung in den Magen als Ozonwasser zu verwerten. Er hat sein Anwendungsgebiet auf die verschiedensten Krankheiten ausgedehnt. Jedoch ist von diesen Bestrebungen, die von vornherein ablehnend kritisiert wurden[2]), nichts übrig geblieben.

Das Ozon besitzt ein hohes Oxydationsvermögen und vermag in konzentrierter Form niedere Lebewesen zu töten, es wirkt also desinfizierend. Jedoch ist es in solchen Konzentrationen nicht als Heilmittel zu benutzen, da es stark reizende Eigenschaften auf die Schleimhäute äußert, zu Hustenreiz, Kratzen im Halse und Brechneigung führt. Man glaubte früher Ozon im Blute nachgewiesen zu haben und brachte mit ihm die Oxydationsvorgänge im Körper in Verbindung. Diese Anschauung hat sich auf Grund von Untersuchungen von Pflüger[3]) als falsch erwiesen. Käme aber Ozon bei Ozoneinatmungen in das Blut, so würde es sofort in ihm zerlegt werden.

Sichere Erfahrungen über etwaige oxydierende oder sonstige physiologische Wirkungen des Ozons im Tierkörper liegen nicht vor. In den niedrigen Konzentrationen, in denen es sich in der Luft findet, kann es kaum irgendwelche Wirkungen äußern, denn es dürfte bereits an den Eingangspforten des Körpers zersetzt werden.

Dem Ozon in seinen chemischen Wirkungen nahe steht das Wasserstoffsuperoxyd. Schoenbein stellte es in atmosphärischen Niederschlägen fest (Regenwasser). Eine klimatische Bedeutung kann ihm kaum zukommen.

Klimatisch bedeutungslos ist auch der Stickstoff der Atmosphäre. Er stellt ein physiologisch ebenso wie chemisch indifferentes Gas dar. An manchen Stellen

---

[1]) Lender, Sauerstoff und Ozonsauerstoff. Berlin 1870. Ferner B. kl. W. 1870 und Deutsche Klinik 1870—1872.

[2]) Vgl. Waldenburg, Die lokale Behandlung der Krankheiten der Atmungsorgane. S. 708 ff. Berlin 1872.

[3]) Pflüger, Pflüg. Arch. Bd. X S. 251.

entströmt er zugleich mit Mineralquellen dem Boden, so in Lippspringe, in Inselbad bei Paderborn. Man versuchte ihn zu Heilzwecken dort in Form von Einatmungen zu verwerten. Die Anschauung, daß Atmung stickstoffreicher Luftgemische auf den Stoffwechsel durch verminderte Zufuhr von Sauerstoff hemmend wirke, ist theoretisch unhaltbar, und die Benutzung von Stickstoffeinatmungen zu diesem Zwecke aussichtslos. Dagegen scheint stickstoffreichen Luftgemischen eine gewisse sedative Wirkung zuzukommen: Verminderung des Hustenreizes, freiere Atmung bei chronisch-entzündlichen Veränderungen der Lungen, Rückbildung katarrhalischer Prozesse. Bei subakuten und chronischen Formen der Lungentuberkulose werden Stickstoffeinatmungen auch heute noch angewandt. Von Treutler ist ein besonderer Einatmungsapparat angegeben worden, um ein Luftgemisch zuzuführen, das 5—7% mehr an Stickstoff als die Atmosphäre auf Kosten von ebensoviel Sauerstoff enthält.

In minimalen Mengen sind in der atmosphärischen Luft stets Salpeter- und salpetrige Säure vorhanden. Bei Gewittern bilden sie sich in größeren Mengen. Sie verbinden sich mit dem gleichfalls in sehr geringer Menge vorhandenen Ammoniak (im Park von Montsouris bei Paris wurden im Jahresmittel 2 mg NH_3 in 100 cm Luft gefunden) zu salpeter- bzw. salpetrigsaurem Ammoniak, die mit Regen und Schnee dem Erdboden zugeführt werden. Vermehrt sind ihre Mengen, wo Rauchgase sich der Luft beimischen.

2. Gelegentliche gasförmige Bestandteile der Luft.

Die Luft in Großstädten enthält als Erzeugnis unvollkommener Verbrennung organischer Stoffe in ganz geringen Mengen Kohlenoxyd. Das ist für Paris von Gautier[1]), Nicloux und de Saent-Martin nachgewiesen worden. Ersterer fand eine Menge bis zu 0,3 Milliontel in der Pariser Straßenluft. Diese ist zu gering, um Wirkungen im Körper auszulösen; erst die tausendfach größere Menge könnte durch Sauerstoffmangel schädlich wirken.

Einen weiteren gelegentlichen Bestandteil stellt das Sumpfgas dar; es bildet sich bei der Verwesung von Wasserpflanzen und findet sich in der über Sümpfen oder sonstigen stehenden Gewässern ruhenden Luft. —

Klimatisch bedeutsam sind diejenigen abnormen Gasbeimengungen, die in engen Beziehungen zur menschlichen Kultur und Wirtschaft stehen und, wo sie in größeren Mengen entweichen, zu einer schädlichen Verunreinigung der Luft führen. Diese Gase entstammen zum Teil Verbrennungsprozessen, zum Teil sind sie Zwischen- oder Endprodukte in bestimmten Fabrikbetrieben. Ihr Vorhandensein in der Luft macht sich meist schon durch den Geruch erkennbar und kann den Aufenthalt im Freien selbst in weiterer Umgebung ihrer Quelle verleiden oder unmöglich machen. Als derartig schädliche Betriebe kommen in Betracht: chemische Fabriken, Gasanstalten, Gerbereien, Leimsiedereien, Stärkefabriken, Hochöfen- und Hüttenwerke. Je nach der Natur des Betriebes kann es sich um schweflige Säure, Ammoniak, Chlor, Schwefelwasserstoff u. a. handeln.

Da die genannten Betriebe in neuerer Zeit mehr und mehr auf das freie Land verlegt werden, muß bei der Vornahme einer Klimakur darauf geachtet werden, daß der gewählte Aufenthaltsort nicht im Bereich ihrer Ausströmungen gelegen ist.

Klimatisch besonders schädlich erweist sich die schweflige Säure und ihr Oxydationsprodukt, die Schwefelsäure. Ihre Entstehung ist nicht an einen bestimmten Fabrikbetrieb gebunden, vielmehr ist erstere in allen Rauchgasen enthalten. Nach v. Bebber[2]) sind in 1 cm Luft in London 1,7 mg Schwefelsäure gefunden

---

[1]) Gautier, Compt. rend. 126 (1898).

[2]) v. Bebber, Hygienische Meteorologie. Leipzig 1895.

worden, in Manchester 2,5 mg. Sie werden mit den Niederschlägen zur Erde geführt, so daß 1 l Schneewasser in einer Fabrikgegend 60—70 mg Schwefelsäure enthalten kann. Je klarer das Wetter ist, um so weniger schweflige Säure und andere Verbrennungsprodukte enthalten die unteren Luftschichten; ist es trübe oder gar neblig, so sind sie in erheblich reicherem Maße vorhanden. Eine zahlenmäßige Vorstellung geben die Beobachtungen von Russel, die die Londoner Luft betreffen (zitiert nach Hann).

Tabelle 15.

	1000 Kubikfuß Luft enthalten in Gramm			
	Kohle	schweflige Säure	Salzsäure	Kohlensäure Vol. %
bei klarem Wetter	0,0033	0,0128	0,0010	0,038
„ trübem Wetter	0,0101	0,0303	0,0036	0,045
„ nebligem Wetter	0,0139	0,0460	0,0028	0,051

Die in der Luft von Manchester enthaltenen Mengen genügen um die Vegetation zu zerstören. Sie wirken damit schon durch die Beeinträchtigung des Landschaftsbildes klimatisch ungünstig und dürften auch hygienisch nicht unschädlich sein.

Schweflige Säure und Schwefelwasserstoff mischen sich übrigens auch durch natürliche Vorgänge der Atmosphäre bei. Sie sind ein Bestandteil der Gase, die von Vulkanen bei ihren Ausbrüchen nach außen geschleudert werden oder an Stellen erloschener vulkanischer Tätigkeit der Erde entströmen. So bei Pozzuoli, auf Island, auf Java. Schwefelwasserstoff findet sich — allein oder neben Schwefelalkalien — in den sog. Schwefelquellen, deren nicht wenige in den verschiedensten Staaten Europas, in Deutschland z. B. in Aachen, Nenndorf, Eilsen, Weilbach, auch in Heluan in Unterägypten vorhanden sind.

3. Körperliche unbelebte Beimengungen zur Luft.

Die körperlichen Bestandteile, die sich der Luft beimischen, und die unter der Bezeichnung Staub zusammengefaßt werden, sind anorganischer und organischer Natur. Beide sind klimatisch wichtig. Wie Alt in Bd. I S. 426 ausgeführt hat, entstammen erstere zumeist der Verwitterung der Gesteine der Erdrinde. Zur Verwitterung neigen besonders Kalk- oder Dolomit-(Kalk- und Magnesia-)Gesteine, während Urgestein (Granit u. ä.) der Verwitterung widersteht. Der Kalkstaub wird durch Luftbewegungen der Atmosphäre mitgeteilt, wo Kalkboden frei zutage tritt. Mit Vegetation bedeckter Boden läßt Staubentwicklung nicht zustande kommen. — Aus anderem chemischen Material bestehen die Staubmassen, die über den Wüsten emporgewirbelt werden. Sie können so massenhaft sein, daß sie den Lichtzutritt zur Erde deutlich vermindern, und können über große Erdstrecken hin verweht werden. Wieder anders ist das Material, das durch vulkanische Eruptionen emporgeschleudert wird. Es besteht aus sehr feinen Teilchen, die durch weite Strecken der Atmosphäre sich verbreiten und in ihr lange Zeit sich schwebend erhalten können. Danach sind es also bestimmte Gegenden, die sich durch Bildung und Anhäufung anorganischen Staubes auszeichnen. So die Kalkgebiete in Mitteldeutschland und in Süddeutschland (Juragebiete), die westlichen Alpen, die Dolomitgegenden, viele Teile Südeuropas (Bosnien, Dalmatien), wo besonders in regenarmen Perioden die Staubentwicklung zur Plage wird.

Staubfrei sind die Küstengegenden, wenn Seewinde herrschen, auch die an

großen Binnenseen gelegenen Orte, wenn nicht gerade starke Landwinde ihnen Staub zuführen.

Diese Staubbildungen stellen gewissermaßen natürliche dar. Ihnen stehen diejenigen gegenüber, die der menschlichen Kultur entstammen. Diese vermag zunächst das Auftreten anorganischen Staubes zu steigern. Durch den Straßenverkehr schon der Fußgänger, mehr noch mit schwerem Fuhrwerk, kommt es zu einer Abschleifung der Bodenoberfläche, die sich natürlich in Großstädten besonders bemerklich macht. Diese Abschleifung beschränkt sich nicht auf weicheres Bodenmaterial (Kalk), vielmehr wird auch hartes (Granit) davon betroffen.

Wichtiger aber sind Staubentwicklungen ganz anderer Art, nämlich diejenigen, die den Feuerungsanlagen entstammen und deren wesentlicher Bestandteil der Kohlenruß ist. Der kohlenhaltige Staub geht der verbrannten Menge an Kohle parallel und ist demnach abhängig von der Zahl und der Intensität in der Beheizung der Feuerstätten, ist im wesentlichen also gebunden an Großstädte und industrielle Anlagen.

Untersuchungen des Rußes, der auf Glasdächern sich niedergeschlagen hatte, ergaben[1]), daß dieser neben Kohlepartikeln reichlich anderes Material enthält, das für die Gesundheit nicht gleichgültig ist, wie Säuren, Ammoniak, organische Basen. Russel fand folgende Prozentwerte:

Tabelle 16.

	Chelsea	Kew
Kohle	39,0	42,5
Kohlenwasserstoffe	12,3	4,8
Organische Basen (Pyridin u. a.)	2,0	—
Schwefelsäure	4,3	1,4
Salzsäure	1,4	0,8
Ammoniak	1,4	1,1
Eisen- und Eisenoxyd	2,6	—
Mineralbestandteile (Silikate u. a.)	31,2	41,5
Wasser	5,8	5,3

Die in der Luft enthaltenen Verbrennungsprodukte sind es, die bei der sog. Staubteilchenzählung nach Aitken (vgl. Alt in Bd. I S. 427) als Kondensationskerne dienen, die als Maß für die Staubmenge bisher angenommen wurden.

Die Zählung nach Aitken[2]) gibt danach einen Einblick nicht in die Menge anorganischen Staubes, vielmehr der Verunreinigungen durch die Kohlenfeuerung und ist deshalb hygienisch wichtiger als man bisher meinte. Wie sehr diese Luftbeimengungen schwanken, zeigen folgende Zahlen.

Tabelle 17.

1 ccm Luft enthält:

auf dem Lande (in Colmonell) bei klarer Luft	500	Staubteile
„ „ „ „ „ „ trüber „	5000	„
in Edinburgh bei klarer Luft	45000	„
„ „ „ trüber „	250000	„
300 m hoher Hügel in Südfrankreich	3550—25000	„
Gipfel des Rigi	210—2000	„
in Paris	160000—210000	„
„ London	116000—480000	„

[1]) F. A. R. Russell, The atmosphere in relation to human life and health. Washington 1896.
[2]) Wiedergegeben bei van Bebber, Lehrb. d. Meteorologie. Stuttgart 1890.

Die Landluft ist also wesentlich ärmer an Teilchen, die als Kondensationskerne für den Wasserdampf dienen können. als die Stadtluft, die Höhenluft ärmer als die der Ebene. In klarer Luft sind weniger als in trüber Luft enthalten. Aitken fand auch, daß von diesen Teilchen bei Wind weniger vorhanden sind als bei ruhiger Luft.

Diese Staubteilchen werden durch Regen oder Schnee niedergeschlagen, die Atmosphäre von ihnen gereinigt. So fand Aitken in Paris auf dem Eiffelturm vor Regen bei trockener Luft 104000 Teilchen im Kubikzentimeter, nach einem Regenguß nur noch 226. Die gleiche Beobachtung machte Emerich in Schliersee: 1080 Teilchen vor, 420 nach einem zweistündigen Regen.

Die Rußpartikel als Grundlage der Kondensation des atmosphärischen Wasserdampfes haben dementsprechend eine wichtige Bedeutung für die Nebelbildung. Der Zusammenhang ist am besten für London mit seinen berüchtigten Nebeln studiert. Die Zahl der Nebeltage stieg von einem Jahrfünft zum anderen mit Zunahme der Menge der verfeuerten Kohle.

Die durch Ruß sich bildenden Nebel haben eine Besonderheit. Sie stellen eigentümlich dunkle „schwarze" Nebel dar, die sich des Morgens zu bilden beginnen. Sie hemmen sehr intensiv den Zutritt des diffusen Lichtes und der Sonnenstrahlen. Das Innere von London hat im Mittel im Dezember und Januar nur 15 Stunden Sonnenschein.

Die schädliche Wirkung dieser Nebel äußert sich schon in bezug auf die Vegetation. Besonders Nadelhölzer sind gegen sie und ihre Bestandteile sehr empfindlich. Hann erwähnt, daß der „Rauchschaden", der besonders durch in ihnen enthaltene schweflige Säure zu entstehen scheint, sich im Elbtal auf 40 ha erstreckt, innerhalb deren Nadelhölzer — nicht Laubhölzer — nicht mehr mit Aussicht auf Fortkommen angepflanzt werden können. Um Chemnitz in Sachsen mit seiner sehr reichen Industrie macht er sich bis zu 36 km wirksam.

Daß er aber auch auf den Menschen gesundheitlich schädlich wirkt, dürfte aus einer Statistik von W. J. Russel[1]) hervorgehen, nach der während einer langen Nebelperiode in London im Jahre 1880 die Sterblichkeit in der 3. Januarwoche 27,1, in der ersten Februarwoche 48,1 auf 10000 betrug. In dieser letzteren Woche machte sie im Mittel in 19 Provinzstädten nur 26,7 aus. Der Überschuß an Todesfällen betrug vom 24. Januar bis zum 14. Februar 2994, der Überschuß an Krankheitsfällen war wohl zehnmal größer.

Zur Erklärung der ungünstigen Wirkung der Rauchnebel kann man an verschiedene Momente denken: an ihre Wirkung auf die Wärmeökonomie — bilden sie sich doch gerade bei niedrigen Lufttemperaturen aus, wodurch die Wärmeentziehung durch Leitung gesteigert wird; an ihre chemisch ungünstige Beschaffenheit — weist doch auch der oben erwähnte geringe Ozongehalt der Luft im Winter auf geringe Reinheit der Luft hin und an den Erfolg, den langdauernde Nebel auf die Luft- und Bodenoberflächenbakterien ausüben. Der Nebel ist für die chemischen Sonnenstrahlen wenig durchlässig, und diese sind es gerade, die schädigend auf die Bakterien wirken. Zudem bleibt der Boden feucht, während Trockenheit des Bodens das Gedeihen der Bakterien schädigt.

Vielleicht spielt auch die seelisch niederdrückende Wirkung langer Nebelperioden eine Rolle bei der Verminderung der Widerstandsfähigkeit gegen Erkrankungen.

[1]) W. J. Russell, Meteorol. Zschr. 1889 S. 33 und 1892 S. 12.

4. Belebte Bestandteile der Luft.

Neben den bisher behandelten unbelebten Bestandteilen enthält der Staub zugleich auch, wenn auch verhältnismäßig in viel geringerer Menge, lebendes Material aus dem Tier- und Pflanzenreich. Aus letzterem sind es vor allem die Pollen von Gräsern und Blütenstaub, aus ersterem eingetrocknete Infusorien und Radiolarien. Dazu kommen aus dem Protistenreich Schimmel-, Sproß- und Spaltpilze verschiedener Art.

Unter den pilzlichen Elementen überwiegen gewöhnlich die Bakterien, nur in der Seeluft wurden überwiegend Schimmelpilze gefunden. Diese sind aber wohl nicht eigentliche Bestandteile der Seeluft, scheinen ihr vielmehr von den Seeschiffen aus beigemischt zu werden und sind nur in der Umgebung der Schiffe in ihr enthalten.

Sonst zeichnet sich gerade die Seeluft durch Keimarmut, häufig durch Keimfreiheit aus. Aus den ausgedehnten Untersuchungen von B. Fischer[1]) und von Flemming[2]) ergibt sich, daß der Keimgehalt der Seeluft mehr und mehr mit der Entfernung vom Festlande abnimmt und daß sie in einer Entfernung von etwa 17—30 deutschen Meilen von der Küste keimfrei wird. Danach haben Seebadeorte eine keimfreie Luft, wenn sie unter einem Winde stehen, der über die See aus einer Richtung her weht, in der sich auf etwa 17 Meilen kein Land befindet.

Relativ arm an belebten Teilen ist auch die Höhenluft. Sie wurde in neuerer Zeit bei Luftballonfahrten besonders eingehend von Flemming untersucht[2]). Er fand, daß für die Verbreitung der niedersten Lebewesen die Höhe der Wolkenschicht von besonderer Bedeutung ist: oberhalb der Wolken war der Keimgehalt weit geringer als unterhalb. Er fand in 500 m Höhe an der unteren Grenze der Wolkenschicht 130 Keime in 10 l Luft; von 500 m bis zu 4100 m in 10 l nur 3—6 Keime. Dieser erhebliche Unterschied kommt wohl auf Rechnung der starken Sonnenstrahlung, die oberhalb der Wolken in der wasserarmen Luft wirksam wird und schädigend auf die Luftkeime wirkt, wie dies früher (S. 39ff.) mitgeteilt wurde. Da die obere Wolkengrenze in den mitteleuropäischen Gebirgen in etwa 1200—1500 m Höhe liegt, ist danach erst in Kurorten, die in dieser Höhe oder darüber liegen, eine annähernd keimfreie Luft zu erwarten.

In der Luft des Tieflandes bestehen im Keimgehalt zwischen Stadt- und Landluft sehr beträchtliche Unterschiede. Zahlenangaben, die sich auf Luftkeimgehalt im Innern von Paris und in seiner Umgebung beziehen, hat Alt in Bd. I S. 429 mitgeteilt. Die Stadtluft war im Mittel einer zehnjährigen Beobachtungsreihe 14 mal reicher an Keimen als die Landluft. Sie enthielt im Jahresdurchschnitt 7125 Bakterien und Schimmelpilze in Paris gegen 505 in seiner Umgebung auf den cm Luft,

Auch auf die jährlichen Schwankungen mit einem Maximum im Sommer, einem Minimum im Winter hat Alt hingewiesen. Neben diesen besteht auch eine tägliche Periode, indem die Keimmenge vom Morgen bis zum Nachmittage zunimmt, von da ab bis Mitternacht wieder sinkt.

Das Wetter hat insofern einen erheblichen Einfluß auf die Keimzahl, als Niederschläge, zumal Regen, einen sehr großen Teil der Luftkeime niederschlagen, also auch in bezug auf die lebenden Bestandteile der Luft reinigend wirken.

Die Arten der gefundenen Bakterien sind mannigfach. Flemming bestimmte eine größere Zahl von Kokken und Bakterien; unter letzteren fand er in Höhen über

---

[1]) B. Fischer, Zschr. f. Hyg. 1. S. 421 1886.

[2]) Flemming, Zschr. f. Hyg. 58 S. 370 (1908).

2500 m auffällig viele farbstoffbildende. Die meisten sind für Menschen und Tiere nicht pathogen, aber auch einzelne tierpathogene Keime konnte Flemming feststellen. Ob diese auch für den Menschen bei Einatmung schädlich sind, ist noch fraglich.

Ein Vergleich der Menge der belebten und der unbelebten körperlichen Bestandteile der Atmosphäre läßt erkennen, daß erstere gegenüber letzteren stark in den Hintergrund treten. Hierdurch nicht nur, sondern auch durch die Tatsache, daß ihre Pathogenität für den Menschen sehr zweifelhaft ist, ist ihre Bedeutung vom ärztlich-klimatischen Standpunkt weit geringer als die der unbelebten.

Als sichere Krankheitsursache kommen nur die Pollen von Gräsern bei dazu disponierten Personen in Betracht, bei denen sie Katarrhe der Augenbindehäute und der Schleimhäute der oberen Luftwege erzeugen bis zu der Erkrankung, die als Heufieber bezeichnet wird.

Dagegen ist die schädliche Wirkung der unbelebten Staubteile weit allgemeiner. Auch sie äußert sich in katarrhalischen Erkrankungen der Konjunktiven und der luftzuführenden Wege, die durch Übergang in ein staubfreies Klima gebessert werden können. Neben den Katarrhen der Nase, des Rachens, des Kehlkopfes, der Bronchien wird durch den Reiz, den der Luftstaub ausübt, auch das Bronchialasthma beeinflußt. Den Zusammenhang asthmatischer Anfälle mit stauberfüllter Luft erweist nicht nur die klinische Erfahrung; auch experimentelle Feststellungen von Lazarus[1]) haben gezeigt, daß Reizungen der Nasenschleimhaut reflektorisch zu Verengerungen der kleinen Bronchien führen, wie sie mit dem Asthmaanfall einhergehen. Aufenthalt in staubfreier Luft kann zur Besserung der asthmatischen Disposition dadurch führen, daß, wie Zuntz[2]) hervorhebt, bei längerem Fehlen des durch den Staub gegebenen Reizes „die Übererregbarkeit der reflektorischen Nervenapparate, welche Anlaß zum Asthma gibt“, schwindet.

Das Gefühl des „freien“, leichteren Atmens, das man in reiner, staubfreier Luft wahrnimmt, ist wohl der Ausdruck für die größere Weite und Durchgängigkeit der Luftröhren und die erleichterte Luftzufuhr zu den Lungen.

In welch erheblicher Menge Staubteile mit der Atmung in den Körper eindringen und sich in der Lunge und den ihr benachbarten Drüsen ansammeln können, geht aus der bekannten, durch Kohlenstaub verursachten Arthrakosis der Lungen der Großstädter hervor; ebenso aus der Anhäufung von Kalk bei den in einer Kalkatmosphäre Beschäftigten, von Silikaten bei Steinklopfern. Bei letzteren besteht eine deutliche Disposition zur Lungentuberkulose.

D. Subjektive und objektive Beurteilung des Klimas.

1. Subjektive Beurteilung.

So wichtig die Kenntnis der einzelnen Klimafaktoren und ihrer Wirkung ist, so stehen wir doch immer unter dem Einfluß ihrer Gesamtheit und sind der Summe der Einwirkungen ausgesetzt, die sich aus ihrem Zusammentritt zum Klima herleiten.

Über das jeweilige Klima, unter dem wir leben, bilden wir uns je nach den Empfindungen, die es in uns auslöst, ein bestimmtes Urteil und kennzeichnen es nach unserem subjektiven Befinden durch ein besonderes Beiwort. — Das gilt schon für

---

[1]) Lazarus, Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1891 S. 19 (vgl. auch Einthoven, Pflüg. Arch. 51 S. 367 (1891).

[2]) Zuntz, V. internat. Kongreß f. Thalassother. zu Kolberg 1911 S. 28.

das Klima, in dem wir uns dauernd aufhalten, mehr noch für ein uns bis dahin persönlich unbekanntes, in das wir eintreten.

Unser Allgemeinbefinden wird durch das chemische Verhalten der Atmosphäre nur dann beeinflußt, wenn diese abnorme, ihr an und für sich nicht zukommende Beimengungen enthält, sonst nur durch die physikalischen Klimafaktoren; und — soweit es sich nicht um seelische Wirkungen durch die Landschaft handelt, soweit vielmehr die Beeinflussung unserer körperlichen Vorgänge in Betracht kommt — sind es ausschließlich die Wärmefaktoren und ihre Wirkungen, nach denen unser Urteil sich richtet.

Man kann als maßgebendes Prinzip das des Behagens ansehen, das wir in einem Klima empfinden. Nach ihm schätzen wir es als angenehm oder unangenehm ein, und vielfach wird ersteres mit zuträglich, letzteres mit unzuträglich gleichgesetzt.

Eine Analyse des Klimazustandes, der uns das Gefühl des Behagens oder Unbehagens bereitet, führt zu der Anschauung, daß beides mit dem Wärmegefühl, das seinerseits wieder von der Hauttemperatur und ihren Schwankungen abhängig ist, in Beziehung steht. In der Regel empfinden wir diejenige Beschaffenheit des Klimas als behaglich, die uns weder das Gefühl der Kälte, noch das der Hitze vermittelt. Unter diesen Umständen werden aber an unsere Wärmeregulierungskräfte keinerlei Anforderungen gestellt. Es wird weder die chemische Wärmeregelung in Tätigkeit gesetzt, noch auch eine aktive physikalische, besonders nicht die Schweißsekretion.

Beiderlei wärmeregulatorische Vorgänge greifen an unserem Hautorgan an und ändern seine Beschaffenheit, indem sie zu einem ganz verschiedenen Grade der Kontraktion der Haut- und der Hautgefäßmuskeln, also entweder zu einer intensiven Verengerung oder zu einer starken Erweiterung der Hautgefäße führen. Werden diese der Wärmeregelung dienenden Muskelaktionen der Haut nicht in Tätigkeit gesetzt, so entsteht gewissermaßen ein Indifferenzzustand der Haut, der die anatomisch-physiologische Grundlage für das Gefühl des Behagens ist.

Die verschiedenen Wärmefaktoren: Temperatur, Feuchtigkeit der Luft, Strahlung, Luftbewegung können in verschiedener Art zusammenwirken, um es auszulösen. Dazu kommen als mitwirkende Faktoren — neben der Art der Bekleidung — die Beschaffenheit der Haut: ihre Dicke, ihre Durchblutung, Reaktionsfähigkeit, und ferner das Verhalten der Subcutis mit der verschiedenen Ausbildung des Fettpolsters. Vielleicht spielt auch eine verschiedene Empfindlichkeit der Temperaturnerven eine Rolle.

Es kann also nicht eine bestimmte Klimabeschaffenheit auf alle Menschen gleich wirken und bei allen gleiche Empfindungen auslösen.

Die vielfachen Ermittlungen, die darüber angestellt worden sind, wie sich die genannten Klimafaktoren vereinigen müssen um Lust- oder Unlustempfindungen durch ihre Wirkung auf das Hautorgan zu erzeugen, gelten demnach eigentlich immer nur für Einzelfälle, oder höchstens für eine mehr oder minder große Gruppe von Menschen, dürfen aber nicht als allgemeingültig oder gesetzlich angesehen werden. Da sie jedoch bisher die einzige wissenschaftliche Grundlage abgeben, soll eine Anzahl der durch sie gewonnenen Werte mitgeteilt werden.

Der sicherste Einblick läßt sich gewinnen, wenn der Umfang der Wärmezufuhr bzw. der Wärmeabgabe von der Haut in absolutem Maße, d. h. nach der Kalorienzahl bekannt ist. Solche Bestimmungen sind erst vereinzelt ausgeführt worden. Die hierbei von Rubner gewonnenen Zahlen sind schon S. 30 mitgeteilt. Dort ist auch erwähnt, daß nach noch nicht veröffentlichten Versuchen von Dorno

und Loewy diese Werte nicht, wie es meist geschieht, verallgemeinert werden dürfen, daß man vielmehr auch ganz andere Zahlenwerte erhalten kann.

Im allgemeinen jedoch muß man sich damit begnügen, das Verhalten der Atmosphäre — Temperatur, Feuchtigkeit, Luftbewegung, Strahlung — zu ermitteln und damit das Wärmegefühl zu vergleichen.

Dabei hat sich ergeben, daß das Optimum der Behaglichkeit eintritt bei Luftruhe unter einer Lufttemperatur von etwa 18° mit 30—40% relativer Feuchtigkeit für einen ruhenden, leicht bekleideten Menschen. Der unbekleidete Mensch fühlt sich erst bei 25—30° in ruhender Luft mit mittlerem Wasserdampfgehalt wohl.

Bei einem nackten Menschen begann in Versuchen von Rubner und Lewaschew[1]) bei Temperaturen unter 27° das Gefühl der Kühle in trockener, ruhiger Luft; bei leichter Bekleidung unter 15°. Als zu warm empfand der Nackte Temperaturen über 33° C, der Leichtbekleidete solche über 27°. Die Bekleidung gab also ein behagliches Wärmegefühl innerhalb einer Temperaturbreite von 12° C (15—27°), während die Versuchsperson nackt nur innerhalb einer Temperaturdifferenz von 6° (27—33°) sich behaglich fühlte.

Steigt oder sinkt die Lufttemperatur über die eben genannten Grenzen hinaus, so beginnt die Luftfeuchtigkeit für die „gefühlte Wärme", für das „Temperaturgefühl", wie man es auch genannt hat, eine besonders wichtige Rolle zu spielen. Ist die Luftfeuchtigkeit hoch, so empfindet man sowohl niedrige wie hohe Temperaturen unangenehmer als in trockener Luft. Im ersteren Falle hat man das Gefühl feuchter Kälte, im zweiten das der Schwüle.

Bei hoher relativer Feuchtigkeit tritt beim Leichtbekleideten das Gefühl feuchter Kälte bei Temperaturen unter etwa 12—15° ein, verursacht durch die gesteigerte Wärmeleitung. Das Gefühl der Schwüle kann schon bei 20—25° C sich bemerklich machen. Eine Temperatur von 24° bei 96% relativer Feuchtigkeit war in einem Versuche von Rubner und Lewaschew auf die Dauer unerträglich. Bei 66% relativer Feuchtigkeit wurde in einer Luft von 30° C starkes Hitzegefühl empfunden, während 10—20% relative Feuchtigkeit bei Lufttemperaturen von 28—29° noch keine Beschwerden verursachten.

Über die Ausbildung des Gefühles drückender Schwüle bei wechselndem Verhalten der Lufttemperatur und der relativen Feuchtigkeit hat Lankaster[2]) an sich selbst eingehende Versuche angestellt. Es stellte sich ein bei:

Tabelle 18.

Lufttemperatur:	29,5°	28°	27—25°	24—23,5°	22—21°
Relative Feuchtigkeit:	45%	50%	65%	70%	75%

Das Klima der Länder, das uns als drückend schwül erscheint, also das Tropenklima, zeigt vielfach ungünstigere Verbindungen von hohen Temperaturen und hoher Luftfeuchtigkeit, als die vorstehend angeführten. So weist Lankaster auf Vivi am Kongo hin mit 30° Temperatur und 59% Feuchtigkeit vom Dezember bis Mai, auf Jamaika mit 32° und 60% im Mittel. Batavia hat im Januar eine Temperatur von im Mittel 25,3° bei 88% relativer Feuchtigkeit. Weitere Beiträge hierzu gibt auch H. v. Schrötter.

Die Beziehungen, die zwischen dem Gefühl der Schwüle und der sog. „äquivalenten Temperatur" (Knoche[3]) bestehen, sind von Dalmady[4]) untersucht worden. Dalmady

[1]) Rubner und Lewaschew, Arch. f. Hyg. 29 S. 1 (1897).

[2]) Lankaster, V. Congrès internat. d'Hydrolog. et de Climatol. Lüttich 1898 (zitiert bei Hann). — H. v. Schrötter: Denkschr. d. Wien. Akad. Bd. 97, 4 (1919).

[3]) W. Knoche, Meteorol. Zschr. 1907.

[4]) Dalmady, Zschr. f. Balneol. V, 1913 S. 409. Vgl. auch: Zschr. f. physikal. Ther. 1921 S. 49.

hat sie in eine mathematische Formel gekleidet. Über diese sowie über den Begriff der äquivalenten Temperatur ist bereits von Alt (Bd. I S. 465) berichtet worden.

Kühle Luft (14—15°) ist angenehmer, wenn sie trocken, als wenn sie feucht ist; sie erscheint im ersteren Falle weniger kalt. Warme Luft (24—29°) erscheint dagegen kühler, wenn sie trocken, als wenn sie sehr wasserdampfreich ist. Bei Muskelarbeit tritt das Gefühl der Erschöpfung weniger hervor bei einer Temperatur von 25° bei 50% relativer Feuchtigkeit, als bei 17° und 87% relativer Feuchtigkeit.

Die mitgeteilten Werte gelten für nicht fette Menschen. Bei Fetten verschiebt sich der Behaglichkeitsbereich in Hinsicht auf die Lufttemperaturen nach unten: sowohl die Grenze, bei der Kältegefühl und Unbehagen eintritt, liegt tiefer als bei mageren, wie auch die Grenze, bei der sich das Gefühl der Überhitzung bemerklich macht.

Der Einfluß, den der Wind auf das Temperaturgefühl hat, ist allgemein bekannt. Die niedrigsten Temperaturen der Polargegenden werden anstandslos ertragen, solange es windstill ist, während schon bei Temperaturen um den Gefrierpunkt scharfer Wind sehr unangenehme Kälteempfindung auslösen kann. Andererseits werden hohe Lufttemperaturen durch Luftbewegung erträglich gemacht, wenn ihre relative Feuchtigkeit nicht übermäßig hoch ist.

Zahlenmäßig ist die Wirkung des Windes auf das Befinden in besonderen Versuchen von Wolpert[1]) studiert worden. Danach empfand ein nackter, ruhender Mensch Luft von 30,5—31,0° als etwas warm, bewegte trockene Luft (8 m pro Sekunde) wurde angenehm empfunden. Bei 20—25° wurde bewegte feuchte Luft kälter als trockene gefühlt.

Eine wesentliche Änderung erfährt das Wärmegefühl, wie die vorstehend zusammengestellten Zahlen zeigen, unter dem Einfluß der Bekleidung. Ergänzend sei erwähnt, daß bei 19,2—20,6° beim Leichtbekleideten ohne Wind keine besondere Empfindung auftrat; Wind von 8 m verursachte gleichfalls keine Empfindung oder etwas Kälte. Bei 20° war beim Bekleideten in ruhiger Luft das Wärmegefühl für feuchte und trockene Luft gleich; in bewegter Luft wurde die trockene kälter als feuchte empfunden.

Eine Temperatur von 14,2—14,4° empfand bei ruhender Luft der Nackte kühl und es bildete sich eine Gänsehaut, der Bekleidete empfand sie „gerade so richtig"; ebenso fror der Nackte bei 15,7° schon, der Bekleidete noch nicht.

Der Mangel an Kleidung hat in ruhender Luft einen geringeren Effekt auf das Wärmegefühl (wie auch auf die Wärmeökonomie) als Wind trotz Bekleidung. Bei 35° ist der Nackte mehr erhitzt und schwitzt mehr in ruhender Luft als der Bekleidete in bewegter. Bei 20° und 15° friert der Nackte bei Luftruhe weniger als der Bekleidete bei Wind.

Auf Grund des Temperaturgefühls die Klimaverschiedenheiten zu kennzeichnen ist verschiedentlich versucht worden. So schlugen Cl. Abbe und J. W. Osborne vor die Klimate je nach ihrem Einfluß auf die Wärmeempfindung einzuteilen in rauhe oder milde, anregende oder schwächende, kräftigende oder drückende u. a., wofür Osborne eine Skala von verschiedenen Empfindungen aufgestellt hat. Abbe hat dann empfohlen, „Kurven der Behaglichkeit" aufzuzeichnen, indem festgestellt wird, unter welchen Bedingungen der Lufttemperatur, der relativen Feuchtigkeit und einer bestimmten Windstärke ein angenehmes Temperaturgefühl entstand[2]).

[1]) H. Wolpert, Arch. f. Hyg. 43 S. 21 (1902).
[2]) Näheres bei Hann, Handb. d. Klimatologie. 3. Aufl. Bd. I S. 59.

Diese Bestrebungen können, wenn auch der Abbesche Vorschlag wertvoll ist, keinen ganz befriedigenden Einblick in den Zusammenhang zwischen Klima und Wohlbefinden geben, da einerseits nicht alle Faktoren, die unser Temperaturgefühl beeinflussen, berücksichtigt sind, andererseits dem subjektiven Empfinden ein zu großer Spielraum gelassen wird, und auch individuell und sicherlich auch zeitlich bei ein und demselben Individuum die Temperaturempfindung unter gleichen klimatischen Bedingungen sich verschieden darstellt. —

Ausgehend von dem schon erwähnten Zusammenhang des Temperaturgefühls mit der Hauttemperatur hat dann Vincent sehr zahlreiche Versuche angestellt, in denen er das Verhalten der Hauttemperatur bei wechselnder Lufttemperatur, Temperatur des Solarthermometers, Windgeschwindigkeit mittels eines über die Haut des Daumenballens hin und her gerollten Thermometers ermittelte. Er berechnete daraus eine Formel, nach der die Höhe der Hauttemperatur maßgebend für bestimmte Temperaturgefühle sein soll.

In weiter fortgeführten Versuchen[1]) hat Vincent die Beobachtung des Solarthermometers ausgeschaltet. Die Formel für die Abhängigkeit der Hauttemperatur von der Temperatur der Luft und der Windgeschwindigkeit lautet: $p = 30{,}1 + 0{,}2\,t - v\,(4{,}12 - 0{,}13\,t)$, wo p die Temperatur der Haut, t die der Luft, v die Windgeschwindigkeit in Metersekunden bedeuten. Vincent findet, daß bei Messung der Hauttemperatur (p) im Schatten die Temperaturempfindung sich folgendermaßen stellt:

p = 22° = sehr kalt,
22—26° = kalt,
26—29° = frisch,
29—31,5° = gemäßigt,
31,5—34,5° = lauwarm,
34,5—37,5 = heiß,
37,5° und mehr = sehr heiß.

Reichenbach und Heymann[2]) haben Vincents Untersuchungen nach der älteren von ihm angegebenen Formel[3]), in der die Differenz zwischen Solarthermometer und Luftthermometer berücksichtigt war, weitergeführt.

Danach würde also die Wirkung der in der Formel berücksichtigten Klimafaktoren auf den Menschen auf eine einzige Formel zurückgeführt und ausgedrückt sein in dem wechselnden Verhalten der Hauttemperatur.

Von den Wärmefaktoren des Klimas fehlt bei Vincents Formel die Luftfeuchtigkeit. Vincent vernachlässigte sie bewußt, weil nach seiner Angabe sie unter den von ihm untersuchten klimatischen Bedingungen keine Rolle spielen sollte.

Rubner erkennt die Allgemeingültigkeit der Vincentschen Formel nicht an, nicht nur, weil die Luftfeuchtigkeit unberücksichtigt geblieben ist, sondern auch weil auf die Hauttemperatur eine Anzahl innerer Momente: Ernährungszustand, Fettbestand, Arbeit von Einfluß sind. Immerhin hat Rubner in einer Nachprüfung der Vincentschen Angaben die Voraussetzungen für die oben angegebene Formel innerhalb der Lufttemperaturen von 10—20° C als richtig befunden. Ebenso haben Reichenbach und Heymann[4]) innerhalb noch weiterer Temperaturgrenzen als Rubner und mit genauerer Hauttemperaturmessung als Vincent die Zulässigkeit von dessen Anschauung insofern bestätigt, als sie fanden, daß die Beziehung zwischen Hauttemperatur (an der Stirn) und Lufttemperatur durch eine einfache Formel sich ausdrücken läßt.

---

[1]) Vincent, Nouvelles recherches sur la temperature climatologique. Bruxelles 1907. — Hier historische Daten.

[2]) Reichenbach und Heymann, Zschr. f. Hyg. 57 S. 1 (1907).

[3]) Die ältere Formel ist bei Hann (S. 58), Peters (a. a. O. S. 295) und bei Rubner (Handb. d. physikal. Therap. I S. 57) angegeben.

[4]) Reichenbach und Heymann, Zschr. f. Hyg. 57 S. 1 (1907). Hier ist eine andere, nach R. u. H. geeignetere Formel angegeben. Vgl. auch Flügge, Festschr. zum 60. Geburtstag von Rob. Koch. Jena 1908. S. 639.

2. Objektive Beurteilung.

Die vorstehenden Vorschläge über die Wirkungen der Wärmefaktoren des Klimas auf den Menschen eine Anschauung zu gewinnen, nehmen vom ärztlich-klimatologischen Standpunkte zweckmäßiger- und berechtigterweise ihren Ausgang vom Menschen selbst und von seiner Temperaturempfindung. Ihnen gegenüber stehen andere, die unter Ausschluß des subjektiven Momentes durch rein physikalische Bestimmungen diese Wirkungen zahlenmäßig festzustellen suchen. Diese Bestrebungen sind darum weniger annehmbar, weil sie über die physiologischen Vorgänge, die als Anpassungsprozesse gegenüber den Klimareizen, speziell der Wärmeentziehung, den Menschen wie allen Warmblütern gegeben sind, hinweggehen und einseitig die Wärmeabgabe, sei es allein durch Leitung und Strahlung oder auch durch Verdunstung, wie sie unter bestimmten klimatischen Verhältnissen nach rein physikalischen Gesetzen vor sich geht, bestimmen.

In einem Teil dieser Untersuchungen handelt es sich um eine Art kalorimetrischer Feststellungen, indem die Abkühlung, die eine bestimmte Wassermasse in bestimmter Zeit erfährt, beobachtet wird. In dieser Weise ging Hiller[1]) vor. Er benutzte eine mit warmem Wasser gefüllte Glasflasche, in die ein Thermometer eingeführt war, und beobachtete die Zeit, die erforderlich war, um das Quecksilber bei ruhender und bewegter Luft um bestimmte Wärmegrade sinken zu lassen. Ebenso verfuhr Bodman[2]), der einen Eisenblechzylinder verwandte, um den Einfluß des Windes auf die Wärmeentziehung und damit auf das Kältegefühl im Südpolarklima festzustellen.

Auch Frankenhäuser[3]) verfuhr auf diese Weise. Sein „Homöotherm" besteht aus einem Kupferblechzylinder (mit 100 qcm Oberfläche), der 100 ccm Wasser faßt, und dessen Ausmaße derart gewählt sind, daß eine Temperaturabnahme des Wassers um je 1° C einem Wärmeverlust von 1 cal pro Quadratzentimeter Oberfläche entspricht.

Endlich ist hier J. W. Osborne zu nennen, der sich eines Gefäßes aus starkem Papier bediente, um neben der Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung auch die durch Verdunstung zu erhalten. Letzteres zog auch Frankenhäuser in Betracht, indem er die Oberfläche seines Homöotherms mit Stoff überzog, den er durchnäßte.

Mittels dieser, übrigens theoretisch nicht einwandfreien Wasserkalorimeter, konnte gezeigt werden, welch erheblichen Einfluß die Luftbewegung auf die Wärmeabgabe schon der trockenen, mehr noch der feuchten Oberfläche ausübt. Alt gibt im ersten Bande (S. 475) dafür einige zahlenmäßige Belege. Untersuchungen über den Einfluß der Sonnenstrahlung, die doch für die Wärmeverhältnisse der Haut gleichfalls von erheblicher Bedeutung ist, auf den Verlauf der Abkühlung scheinen nicht vorzuliegen. Ein Rückschluß aus den gefundenen Werten auf den Grad der Abkühlung des menschlichen Körpers läßt sich nicht ziehen, nicht einmal ein allgemeingültiger Schluß auf den Umfang der Abkühlung der Körperoberfläche und damit auf die thermische Empfindung.

Das gleiche Urteil gilt von den Ergebnissen noch einfacherer Verfahren, die gleichfalls dem Prinzip der Bestimmung der Abkühlungsgeschwindigkeit folgen, die aber nichts weiter als ein freischwebendes, erwärmtes Thermometer benutzen und das Sinken des Quecksilbers in der Zeit unter verschiedenem Ver-

---

[1]) Hiller, Deutsche militärärztl. Zschr. 1885 Nr. 7/8.

[2]) Bodman, Wissenschaftl. Ergebnisse der schwedischen Südpolarexpedition 1901—1903 S. I. Stockholm 1908. (Zitiert nach Peters.)

[3]) Frankenhäuser, Zschr. f. Balneol. IV S. 439 (1911), auch M. Kl. 1911 S. 855.

halten der Atmosphäre feststellen. Dieser Methode bediente sich für klimatische Untersuchungen zuerst wohl Heberdeen im Jahre 1826, wie Vincent mitteilt, sodann nach Frankenhäusers Angabe im Jahre 1837 J. Osborne. Es ist aber noch neuestens von Große[1]) empfohlen worden. Große hebt hervor, daß für die Messung der Wirkung des Windes dieses Vorgehen Vorzüge biete gegenüber der gewöhnlichen Windmessung durch Anemometer. Große erwämrt das Thermometer um 10° und beobachtet die „Halbierungszeit", d. h. die Zeit, innerhalb deren es um 5° sinkt.

Die thermometrischen Methoden und auch die kalorimetrischen, ausgenommen die Osbornesehe (und die Frankenhäusersche in dem Falle, daß sein Apparat mit benetztem Stoff umkleidet wird), geben die Verhältnisse der Wärmeabgabe beim Menschen nicht wieder. Denn bei ihnen erfolgt die Wärmeabgabe nur durch Leitung und Strahlung, während beim Menschen stets auch Wasserverdunstung mitspricht. Diese tritt allerdings bei niedrigen Lufttemperaturen sehr zurück, und unter diesen Umständen würde eine gewisse Analogie in den Wärmeabgabeverhältnissen zwischen menschlichem Körper und Thermometer bzw. Kalorimeter bestehen.

Umgekehrt ist es bei einem anderen physikalisehen Verfahren, das gleichfalls, und zwar in weit ausgedehnterem Maße, als die bisher besproehenen, zur Sehätzung der Wärmeabgabe benutzt wurde, bei dem psychrometrisehen.

Bei dem Psychrometer wird die Temperatur eines trockenen mit der eines feuchten Thermometers verglichen. Die Temperaturerniedrigung, die das letztere gegenüber dem ersteren zeigt, hängt von dem Umfange der Verdunstung am feuehten Thermometer ab. Das Psychrometer gibt also einen Maßstab für die Verdunstungskraft des Klimas ab.

Indem man davon ausging, daß die Verdunstungskraft der Atmosphäre, die bedingt ist durch deren Trockenheitsgrad, die Stärke der Luftbewegung und den Luftdruck, für den Umfang der Verdunstung von der menschlichen Haut bestimmend sei und damit wesentlich sei für das Maß ihrer Abkühlung und in Zusammenhang damit wieder für das Temperaturgefühl, hat man die Temperaturgrade des feuchten Thermometers als Maßstab für letzteres nehmen wollen, und Harrington hat, wie Alt in Bd. I S. 465 angibt, sie direkt als „fühlbare Temperaturen" bezeichnet.

Diese Überlegungen treffen aber höchstens für hohe Lufttemperaturen zu, besonders bei solehen, die zu Sehweißbildung führen. Nur der auf die Haut abgesonderte Schweiß verdunstet gemäß dem Verhalten der klimatischen Wärmefaktoren. Bei niedrigeren Lufttemperaturen jedoch kommt — bei Körperruhe wenigstens — allein die insensible Wasserverdunstung in Frage, und diese erfolgt, wie schon früher (S. 15) betont wurde, nieht allein nach den physikalisehen Bedingungen der Atmosphäre, wird vielmehr weitgehend von physiologisehen Momenten, die durch die augenblickliche Beschaffenheit der Haut gegeben sind, geregelt. Zudem spielt bei niedrigen Temperaturen die Verdunstung eine geringe Rolle als wärmeabgebender Faktor.

Für hohe Lufttemperaturen ist demnach die Temperatur des feuchten Thermometers zur Beurteilung des atmosphärischen Einflusses bedeutungsvoll und ist geeignet, unmittelbar über die Erträgliehkeit des Klimas zu unterrichten.

Hann[2]) bringt dafür beweisende Beispiele aus Nordamerika: In Death Valley

---

[1]) Große, Zschr. f. Balneol. VI S. 253 (1913).

[2]) Hann, a. a. O. S. 57.

in Kalifornien zeigte das feuchte Thermometer bei einer Lufttemperatur bis zu 50° C nur 23—25° C; dabei war das Temperaturgefühl fast das der Kühle. Ebenso war es, als bei Lufttemperaturen von 47,7° und von 45,5° das feuchte Thermometer nur 21° und 19,4° anzeigte. —

Einen Fortschritt in der Erkenntnis der Gesamtklimawirkung dürfte ein Verfahren bringen, das jüngstens Hill[1]) angegeben hat. Auch Hill mißt die Abkühlungsgröße, wie es die S. 88 genannten Autoren getan haben. Er benutzt ein erwärmtes Alkoholthermometer, ein trockenes und ein feuchtes; aber sein Thermometer ist geeicht, so daß es aus der Abkühlungsgeschwindigkeit die Abkühlungsgröße in $^{1}/_{1000}$ Grammkalorien pro Sekunde und Quadratzentimeter zu berechnen gestattet.

Um die so erhaltenen Werte physiologisch nutzbar zu machen, müssen sie mit einem körperlichen Vorgange in Beziehung gesetzt werden, der unter dem Einflusse der Abkühlung steht. Hier bietet sich zunächst wieder das Verhalten der Hauttemperatur. Umfangreiche vergleichende Messungen, die Dorno[2]) in Davos über die Temperatur der Backenhaut und die Abkühlungsgröße am Hillschen „Katathermometer" ausgeführt hat, ergaben eine sehr einfache und anscheinend konstante Beziehung zwischen beiden Werten, indem stets, zu jeder Tages- und Jahreszeit, die Abkühlung der Backenhaut, d. h. die Differenz von Körpertemperatur und Backenhauttemperatur, annähernd die Hälfte betrug des Abkühlungswertes des Katathermometers.

Dabei besteht nach Hill zwischen der Hauttemperatur der Backe und dem Wärmegefühl folgendes Verhältnis:

33—34°: Gefühl von Hitze,
32°: Angenehme Wärme,
30°: Angenehme Kühle,
26°: Kühle.

E. Kurze Zusammenfassung der allgemeinen Klimawirkungen.

Überblickt man, was in den voraufgehenden Abschnitten über die Wirkung der einzelnen Klimafaktoren mitgeteilt wurde, und faßt man die Einzeleffekte zu einem Ganzen zusammen, so ergibt sich, daß die Summe dieser Faktoren, also das Klima als solches, fähig ist fast alle Organsysteme zu beeinflussen und dadurch nicht nur unsere körperlichen Vorgänge, sondern auch unser seelisches Verhalten zu verändern.

Von letzterem können wir hier absehen, da es im Zusammenhange bereits im Abschnitt B 4 auf S. 59 ff. besprochen worden ist.

Für die körperlichen Beeinflussungen ist die Haupteingangspforte die Haut, und an ihr spielen sich die wesentlichsten Klimawirkungen ab, die in einem starken Wechsel des Tonus der Haut- und Hautgefäßmuskeln bestehen. Dieser Tonuswechsel stellt eine Übung dieser Muskeln dar und führt zu einer schnellen und leichten Anpassung derselben an die wechselnden Anforderungen, die die Umgebung für die Auf-

---

[1]) L. Hill, Monthly Weather Review 48, 1920, und 50, 1922.

[2]) C. Dorno, Über geeignete Klimadarstellungen. Zschr. f. physik. u. diät. Therap. 26, 1922.

rechterhaltung des normalen körperlichen Befindens stellt. Das ist die Grundlage dessen, was wir als Abhärtung bezeichnen.

Maßgebend hierfür ist nicht die Konstanz, sondern gerade der Wechsel der klimatischen Verhältnisse. In diesem Sinne wirken aber nicht nur der eigentliche Klimawechsel, vielmehr schon die klimatischen Gegensätze zwischen Tag und Nacht, mehr noch die der verschiedenen Jahreszeiten.

Von der Haut aus werden nun reflektorisch direkt oder indirekt zahlreiche weitere Vorgänge ausgelöst: Veränderungen des Atmungsmechanismus, Veränderungen des Tonus der großen Gefäße, und als Folgen davon Änderungen der Blutverteilung, der Blutströmung, des Blutdruckes und der Herzarbeit.

Diese Vorgänge werden durch die verschiedenen Wärmefaktoren des Klimas, wie im einzelnen an den betreffenden Stellen ausgeführt wurde, hervorgerufen: durch Temperaturdifferenzen, Feuchtigkeitsunterschiede, Luftbewegungen, Strahlungsverhältnisse.

Zu ihnen kommt als eigentümliche Wirkung der Kälte die reflektorische Anregung der Skelettmuskeln zur Tätigkeit und damit die Steigerung der Umsatzprozesse im Körper.

Die von der Haut aus eingeleiteten Reflexvorgänge dienen einem bestimmten Zwecke, nämlich dem der Gleicherhaltung der Körpertemperatur. Daneben werden Klimaeffekte beobachtet, die keinen erkennbaren Zusammenhang hiermit aufweisen, so die geschilderten Veränderungen der Blutbeschaffenheit bei verschiedener Belichtung. Ihre Bedeutung ist — abgesehen natürlich von den Verschiedenheiten der Blutverteilung unter der Wirkung der Wärmefaktoren — nicht genügend bekannt, während die Veränderungen, die das Blut bei vermindertem Luftdruck und damit auch abnehmendem Sauerstoffdruck, also im Höhenklima erfährt, als zweckmäßiges Mittel gegen mangelhafte Sauerstoffversorgung der Organe betrachtet werden müssen.

Das Wesentliche in der Wirkung der physikalischen Klimafaktoren stellt sich also als Anregung zu energischerer Tätigkeit bei mannigfachen Organen dar: bei den der Atmung, des Kreislaufes, an der Skelettmuskulatur, am Nervensystem. Verstärkt werden diese Wirkungen durch den mit jeder Klimakur bei Gesunden verbundenen Zwang zu vermehrter körperlicher Betätigung, die ihrerseits auf dieselben Organsysteme in dem gleichen Sinne der Tätigkeitssteigerung wirkt.

Die dadurch zustande kommende Organübung führt zu einer besseren Ausbildung und den äußeren Bedingungen sich zweckmäßiger anpassenden Funktionierung und somit nicht nur zu einer Leistungssteigerung, sondern auch zu größerer Widerstandskraft gegen Einflüsse der Umwelt, die zu Schädigungen führen könnten.

Hieraus ergeben sich mannigfache und bestimmte Anzeigen für die Benutzung des Klimas zu Kräftigungszwecken bei Gesunden, zu Heilzwecken bei Kranken. Diese werden in späteren Kapiteln erörtert werden.

Von der Physiologie der Sonnenstrahlung.

Von C. Neuberg und L. Pincussen (Berlin).

Unter Strahlung verstehen wir ursprünglich die Energie, die auf höhere Temperatur erhitzte Körper „ausstrahlen" und die sich unseren Sinnen als Licht bemerkbar macht. Jede Strahlung ist der Effekt einer Wellenbewegung, und von der Länge der Wellen hängt es ab, ob und in welcher Weise die Strahlen wahrgenommen werden. Die Strahlen, welche uns als Licht erscheinen, haben eine Wellenlänge von 360—810 $\mu\mu$, die Strahlen, welche die Wärmewirkung hervorrufen, haben größere Wellenlängen, bis zu ungefähr 0,3 mm. Das Gebiet der Strahlen hat sich durch neue Forschungen der Physik erheblich erweitert; unterhalb der Länge der kürzesten vom Auge wahrgenommenen Strahlen liegen die ultravioletten Strahlen mit Wellenlängen bis herab zu 100 $\mu\mu$. Es schließt sich daran ein Bezirk, der erst neuerdings der Untersuchung erschlossen wurde; jenseits davon liegen mit den kürzesten Wellenlängen die Röntgenstrahlen mit einem Maß von 0.1 $\mu\mu$ bis zu den härtesten Röntgenstrahlen von 0,01 $\mu\mu$. Auf der anderen Seite des ursprünglichen Strahlungsgebietes klafft zunächst eine Lücke; es folgen dann die elektrischen Wellen, deren längste 1000 km lang sind. So sehen wir ein großes Gebiet von den kürzesten bis zu den längsten Wellen; es soll gleich hinzugefügt werden, daß allen diesen Energieäußerungen physiologische Wirkungen zukommen, und zwar sind sie zum Teil von ähnlicher Art.

Hier handelt es sich nur um das Gebiet der „Sonnenstrahlung" Diese umgreift einmal das „sichtbare Spektrum", also den Teil, den wir mit unseren Augen als Licht wahrnehmen; am kurzwelligen Ende kommen hierzu noch die uns unsichtbaren ultravioletten, am langwelligen die ultraroten Strahlen. Wir können bekanntlich das „weiße" Sonnenlicht zerlegen, wenn wir es durch ein Prisma fallen lassen. Das Sonnenlicht wird dann in die bekannten Farben des Regenbogens aufgeteilt, von denen die violette den kürzesten, die rote den größten Wellenlängen entspricht. Das Sonnenlicht, wie es auf die Erde gelangt, ist nun nicht ganz rein und entspricht nicht völlig dem von der Sonne ausgesandten. Es wird durch die zu passierenden Luftschichten erheblich modifiziert. Es ergibt sich hieraus ohne weiteres, daß die Sonnenstrahlung im Hochgebirge reiner und wirksamer sein muß als im Tieflande, wo es noch weitere Schichten zu durchdringen hat. Aber schon auf den höchsten Bergen erleidet die Sonnenstrahlung eine Veränderung durch die Gashülle, welche die Erde bis zu einer Höhe von etwa 300 km umgibt. Während die langwellige Strahlung ziemlich vollständig auch in die niedrigeren Regionen gelangt, wird die jenseits der Sichtbarkeitsgrenze liegende, also die ultraviolette, schon in hohen Erdschichten verhältnismäßig stark absorbiert, und sie verliert um so mehr von ihrer Intensität, je tiefer der bestrahlte Ort liegt. In den niedrigeren die Erde umgebenden Gasschichten kommen noch die Feuchtigkeit und in den unter-

sten Regionen materielle Staubteilchen hinzu, welche einen guten Teil des Lichtes abfangen. Aus diesen Faktoren erklärt sich, daß das Licht der Höhe gegenüber dem des Tieflandes sowohl was Intensität als auch Qualität anlangt, erheblich bevorzugt ist. Durch das Fehlen des absorbierenden Staubes sind das Meer und seine Küsten gegenüber Orten gleichen Niveaus im Binnenlande im Vorteil.

Die Intensität der Sonnenstrahlung ist ferner abhängig von dem jeweiligen Stande der Sonne; je höher die Sonne steigt, um so mehr verschiebt sich das Intensitätsmaximum nach der kurzwelligen Seite hin, während es bei tiefer Stellung des Zentralgestirns im langwelligen roten Teil liegt, ein Verhältnis, das man sich durch Anblick der im Zenith und am Horizont befindlichen Sonne ohne weiteres klar machen kann.

Frühzeitig lernte der Mensch, das Licht der Sonne, wenn auch in ganz unzureichendem Maße, zu ersetzen. Die künstlichen Lichtquellen sind fast alle sehr unvollkommene Nachahmungen des Sonnenlichtes. Das erste Sonnenlichtsurrogat, der Kienspan, sendet neben Wärmestrahlen fast nur gelbes und rotes Licht aus, und bis in das vorige Jahrhundert gelang es nicht, eine Beleuchtung herzustellen, deren Bereich erheblich über die Grenzen des brennenden Holzscheites hinausging: Kerzen, Petroleumbrenner, Gasflamme, elektrische Kohlenfadenlampe umfassen wesentlich dieses Gebiet mit geringen Überschreitungen in das Grün. Das bisher sonnenähnlichste Licht liefert die elektrische Kohlenbogenlampe, deren Bereich sich von Ultraviolett bis zum Anfang des Rot erstreckt. Andere künstliche Lichtquellen, wie das Gasglühlicht, besitzen neben vielen langwelligen auch einige blaue Strahlen, die neuen hochkerzigen und gasgefüllten Glühlampen reichen ebenfalls bis ins Blau, während ihr Intensitätsmaximum ähnlich wie bei der Sonnenstrahlung im Gelbgrün liegt. Besonders der Wunsch, eine Lichtquelle mit starker photochemischer Aktivität für die Zwecke der Photographie zur Verfügung zu haben, führte zu Konstruktionen von Beleuchtungskörpern mit ultravioletter Strahlung. Inzwischen hatte man auch versucht, die ausgezeichneten Erfolge der Hochgebirgs-Sonnentherapie zu erklären, und bezog diese auf die ultraviolette Strahlung, welche infolge der vorher besprochenen Absorption der Tieflandsonne fast vollständig fehlt. Man wandte daher auch für therapeutische Zwecke solche Ultraviolett-Lampen an, die zum Teil unter der ganz irreführenden Bezeichnung „künstliche Höhensonne" sich zurzeit weitgehendsten Interesses vieler Ärzte und besonders der Laienschaft erfreuen. Diese Lampen bestehen aus einem Quarzgefäße, das im Gegensatz zu Glas für die ultravioletten Strahlen durchlässig ist; in ihm wird ein leuchtender Quecksilberdampfbogen erzeugt. Die ausgesendeten Strahlen unterscheiden sich von denen sämtlicher sonst genannten Lichtquellen und besonders auch von der Sonnenstrahlung dadurch, daß sie kein kontinuierliches Spektrum besitzen, d. h. also, daß die erzeugte Strahlung nicht die sämtlichen Wellenlängen eines Bezirkes umfaßt. Die Quecksilberdampflampe besitzt neben wenigen sichtbaren Strahlen nur bestimmte Strahlen des ultravioletten Teiles: ihr Spektrum weist dementsprechend nur einzelne Streifen im Ultraviolett auf. Um diese Lichtquelle der Sonnenstrahlung ähnlicher zu machen, hat man sie mit „Ergänzungslampen" kombiniert, besonders hochkerzigen Glühlampen, welche ihrerseits das sichtbare kontinuierliche Spektrum liefern. Doch kommt auch so keine genaue Imitation der wirklichen Sonnenstrahlung heraus, die nach wie vor als die für therapeutische Zwecke wirksamste Strahlungskombination angesehen wird.

Das Licht der Sonne erleidet auch, abgesehen von der oben erwähnten Schwächung, teilweise Veränderungen, ehe es zu Wirkungen auf den Organismus gelangt. Wir haben es nur zum Teil mit dem direkten Sonnenlichte, zum Teil mit

modifiziertem Lichte zu tun. Das sog. Himmelslicht unterscheidet sich vom Sonnenlicht dadurch, daß es teilweise polarisiert ist. Ähnliche Modifikationen bewirkt die Reflexion an Schnee und Eis. Wenn wir auch physiologisch bisher Unterschiede zwischen direktem und polarisiertem Licht nicht feststellen vermögen, so könnten solche doch bestehen. Es sei erinnert an die interessante Hypothese von Byk, der die Bildung optisch aktiver Verbindungen aus inaktiven dem Einflusse zirkular polarisierten Lichtes zuschreibt; aus dem Razemkörper, dem Gemisch sonst gleicher, nur entgegengesetzt drehender Substanzen, soll die eine Komponente angegriffen, die andere aktive unverändert bleiben. Ließe sich diese Hypothese experimentell verifizieren, so hätten wir das Rätsel einer Bildung der optisch aktiven Substanzen, also einer typischen Eigenschaft des Lebens, gelöst.

Weitere Modifikationen kann das Licht erfahren, wenn es auf fluoreszierende Substanzen fällt. Es entsteht die sog. Fluoreszenzerscheinung, d. h. das Licht wird in solches anderer Wellenlänge verwandelt, ein Phänomen, das man demonstrieren kann, indem man z. B. eine Lösung von Fluoreszein im auffallenden und durchfallenden Lichte beobachtet. Besonders die kurzwelligen Strahlen sind imstande, solche Fluoreszenzerscheinungen hervorzurufen. In der Regel ist das Fluoreszenzlicht langwelliger als das erregende Licht. Die Erscheinung ist von physiologischer Bedeutung aus dem Grunde, weil wir als Bestandteile des Organismus eine Reihe von fluoreszierenden Körpern kennen. Es soll hierüber wie über die künstliche Auslösung des Vorganges noch gesprochen werden.

Für die Äußerungen des Lichtes ist in erster Linie das Draper-Grotthussche Gesetz wichtig, nach welchem nur das Licht wirksam ist, das absorbiert wird. Für die Absorption gelten die allgemein bekannten Verhältnisse, daß diese maximal ist, wenn die Farbe des bestrahlten Gegenstandes der Lichtfarbe komplementär ist. So erscheint z. B., wenn eine rote Fläche mit grünem Licht bestrahlt wird, jene schwarz, während bei Beleuchtung mit rotem Licht die Fläche rot erscheint, weil das Licht nicht absorbiert, sondern zurückgeworfen wird. Das größte Absorptionsvermögen für alle Arten Strahlen hat der schwarze Körper, der also in jedem Licht schwarz erscheint, das geringste für Sonnenlicht der rein weiße Körper, der das ganze Strahlengemisch zurückwirft, bei Bestrahlung mit Sonnenlicht also weiß erscheint und bei Bestrahlung mit farbigem Licht dessen Farbe zeigt. Ein Absorptionsvermögen kommt dem weißen Körper lediglich für ultraviolette Strahlen zu. Hieraus ergibt sich, daß für die physiologische Wirkung des Lichtes dem Verhältnis zwischen der Strahlung und der Färbung eine wesentliche Rolle zukommt und daß man für die menschliche Haut, welche beim Europäer ja nahezu weiß ist, eine Absorption im wesentlichen nur für ultraviolette Strahlen annehmen kann. Es sagt das natürlich nichts dagegen, daß andere Strahlen die Haut durchdringen und in tieferen Schichten absorbiert werden können.

Die Absorption steht also einmal in Verbindung zu der Färbung, wobei außerordentlich wechselnde Verhältnisse obwalten können. Die Chemie unterscheidet (Ley) (1) eine Anzahl von Gruppierungen, welche für die Färbung der betreffenden Substanz und dementsprechend für die Absorption charakteristisch sind. Durch Umwandlungen der Träger der Färbung, der Chromophore (Witt) (2), im Verlaufe chemischer Umsetzungen kann das Absorptionsvermögen der betreffenden Substanz verändert werden. Da ein Teil solcher Verschiebungen auch durch Lichteinwirkungen ausgelöst werden kann, so sehen wir bisweilen einen Kreislauf, indem durch Lichtwirkung zunächst eine Modifikation der Färbung auftritt und hieran geknüpft eine Abartung der Absorption. Solche Färbungsänderungen finden wir sehr typisch bei

dem Reifen der Früchte; auch die menschliche Haut ändert ihre Farbe durch Lichteinwirkung; wir werden hierauf noch bei der Besprechung der Pigmentfrage zurückzukommen haben.

Es wäre nun irrtümlich anzunehmen, daß lediglich die Färbung die Absorption der Strahlen im Organismus reguliert. Zunächst einmal haben wir es durchaus nicht mit einfachen gefärbten Lösungen zu tun, für welche die Absorptionsgesetze in reiner Form gelten. Der tierische Organismus und auch die Haut bestehen im wesentlichen aus kolloidalen Substanzen, bei denen die Strahlungsaufnahme und Strahlungsverteilung ganz erheblich modifiziert ist. An den kolloiden Partikelchen splittert sich das Licht gewissermaßen auf, zum Teil dürfen wir sogar annehmen, daß eine Art Zerlegung des weißen Lichtes in Spektralfarben zustande kommt, von denen jede nun ihren eigenen Gesetzen gehorcht. Bei Gegenwart fluoreszierender Verbindungen wird das Licht in der oben erwähnten Weise alteriert. Nun kommt noch hinzu, daß das tierische Gewebe durchaus kein zusammenhängendes gleichartiges Material bildet, sondern daß dichte und weniger dichte Stellen miteinander abwechseln. So ist es möglich, daß eine Anzahl von Strahlen, welche nicht wie die ultravioletten an der Oberfläche bereits absorbiert werden, durch die menschliche Haut hindurchtreten und bis in tiefere Schichten gelangen können. Dies gilt in erster Linie von den Strahlen mit größerer Wellenlänge; wir sehen, daß rotes Licht die geschlossenen Augenlider, die Finger, den Handteller und die Ohrlappen durchdringt; bei genügender Intensität der Lichtquelle scheint sogar so viel rotes und auch kurzwelligeres Licht durch den Thorax, daß man damit photographieren kann (3). Im wesentlichen gelangen rote Strahlen hindurch, während das etwas kurzwelligere gelbgrüne Licht von dem Rot des Blutfarbstoffes aufgenommen wird. Ganz exakte Untersuchungen am Lebenden bestehen nicht, doch ist nach zahlreichen Untersuchungen von Kromeyer und anderen kein Zweifel an diesem verschiedenen Verhalten der Strahlung. Daß auch kurzwelliges Licht immerhin ziemlich tief eindringen kann, ergaben Versuche von Jansen mit toter Haut. Als Indikator wählte dieser die Bakterienschädigung, die lediglich den kurzwelligen Strahlen zukommt. Durch eine 1,5 mm dicke Hautschicht drang noch genug kurzwelliges Licht, um die Mikroorganismen abzutöten, durch 4 mm noch so viel, daß die Kleinlebewesen stark geschädigt wurden. Natürlich liefern diese Versuche durchaus kein Bild der Verhältnisse am Lebenden. Übrigens gibt Droßbach (4) an, daß schon das weniger als 0,1 mm dünne Schalenhäutchen des Hühnereis alle Strahlen bis 320 $\mu\mu$, also fast das ganze Ultraviolett, vollständig verschluckt.

Eine ganz besondere Einrichtung zur Lichtverwertung besitzen die Pflanzen. Ihr grüner Farbstoff, das Chlorophyll, nimmt hauptsächlich die gelben Strahlen, die im Sonnenlicht in besonderer Intensität vorhanden sind, aber auch die langwelligen roten Strahlen infolge seiner komplementären Färbung fast restlos auf. Sein Absorptionsbereich ist so groß, daß nicht nur das strahlende Mittagslicht, sondern auch das Morgen- und Abendlicht mit seinem Maximum im langwelligeren Teile in möglichst vollkommener Weise ausgenutzt werden kann. Die Vegetabilien verfügen über außerordentlich feine Einrichtungen, um die Lichtaufnahme zu regulieren. Bei mäßiger Lichtintensität fungieren die Chlorophyllkörnchen des Blattes gewissermaßen als ein zusammenhängendes Gebilde, so daß das sämtliche Licht zur Absorption gelangt; wird die Lichtintensität zu groß, so ordnet sich das Chlorophyll im Assimilationsapparat säulenförmig an, während die zusammenhängende Pflasterung verschwindet und von oben gesehen nur eine Reihe von grünen Flecken vorhanden sind, die von farblosen Teilen unterbrochen werden. Auf diese Weise erreicht es die

Pflanze, daß ein Teil des Lichtes das Blatt einfach durchstrahlt, ohne aufgenommen zu werden, während die hintereinander gelagerten Chlorophyllkörnchen dazu dienen, das durch die ersten Schichten durchgegangene Licht noch zu absorbieren. Zur Abhaltung zu starken Lichtes, welches die Pflanze schädigen könnte, bestehen noch verschiedene Einrichtungen, die teils als Vorhänge, teils als reflektierende Spiegel wirken.

Während eine gewisse Lichtmenge der Pflanze notwendig ist, muß also zu starke Besonnung ferngehalten werden. Auch die menschliche Haut schützt sich gegen ein Zuviel der Strahlung durch besondere Vorrichtungen. Dieser Strahlungsschutz liegt im Pigment. Es muß gleich betont werden, daß trotz des ähnlichen Aussehens und des bei oberflächlicher Betrachtung analogen Verhaltens das tierische Pigment mit dem Chlorophyll der Pflanzen nichts gemeinsam hat. Während letzteres, wie später noch auszuführen sein wird, für den Stoffwechsel der Pflanze von ausschlaggebender Bedeutung ist, haben wir beim Pigment eine solche Funktion nicht; wir haben es lediglich als ein Schutzwerkzeug anzusehen. Unter einem heißen Himmel lebende Völkerstämme haben eine stark pigmentierte Haut, während die Bewohner der Pole ein fast pigmentfreies Integument besitzen. Auch bei den Negern bestehen deutliche Unterschiede; die in den Steppen wohnenden sind viel stärker pigmentiert als die Neger der Wälder, und der neugeborene Neger hat zunächst eine schiefergraue Farbe. Die Verhältnisse liegen also hier ähnlich wie bei den hellen Rassen; zu einer ursprünglich vorhandenen Pigmentierung kommt bei starker Besonnung eine Zusatzpigmentierung, die bei Lichtabschluß bzw. schwacher Belichtung wieder zurückgeht. Die Pigmentierung verhindert also das Eindringen zu starker Lichtmengen in tiefere Regionen des Körpers; sie tritt beim Weißen bekanntermaßen auf, wenn wir uns ungewohnterweise starkem Licht aussetzen, und zwar erfolgt die Bildung des Pigmentes augenscheinlich aus gewissen aromatischen Körpern, die z. T. der Gruppe des Tyrosins nahestehen. Bloch (5) nimmt als Grundsubstanz des Hautpigmentes das Dioxyphenylalanin an; doch ist seine Funktion hypothetisch, da das Dioxyphenylalanin bislang nicht im Organismus nachgewiesen worden ist. Manche Autoren, z. B. Rollier, wollen dem Pigment ebenso wie dem Chlorophyll eine Wichtigkeit für den Stoffwechsel beilegen, von dem Gesichtspunkt ausgehend, daß die Lichtbehandlung nur bei den Patienten günstige Erfolge zeitigt, die in der Sonne gebräunt werden. Man darf in der Pigmentbildung einen Indikator für den Chemismus des Körpers erblicken: bleibt sie aus, so muß man auf das Fehlen oder die Bereitschaft gewisser wichtiger ringförmiger Bestandteile schließen und kann vielleicht hieraus eine Verschlechterung der allgemeinen Prognose herleiten (s. a. S. 114).

Das Pigment verhindert nicht etwa das Eindringen aller Strahlen in den Körper, sondern es hält nur einen Teil derselben ab; vor allem dürfte es dazu dienen, empfindliche Stellen, insbesondere die Zellkerne, vor dem Lichte zu schützen; wie Meirowsky (6) in sehr schönen Untersuchungen gezeigt hat, wandert das Pigment vor den Zellkern und umgibt diesen gleichsam mit einer dunklen, lichtundurchlässigen Haube.

Der Effekt des Lichtes, für den übrigens oft sowohl in chemischer als biologischer Auswirkung eine allerdings nicht gleichartig zu beurteilende Latenzperiode existiert, kann sich ganz verschieden äußern; wir werden am besten tun, wenn wir die physikalischen, physikalisch-chemischen und chemischen Wirkungen unterscheiden, wobei zweifellos eine ganze Anzahl von Reaktionen nicht einheitlich einer dieser Gruppen zugehören. In vielen Fällen werden mehrere ineinandergreifen.

Die physikalischen Vorgänge fassen wir zusammen unter dem Bilde der

lichtelektrischen Erscheinung. Die Grundtatsache, welche diese Phänomene beherrscht, ist die, daß auf Absorption strahlender Energie durch feste Körper, Flüssigkeiten oder Gase eine Änderung des elektrischen Zustandes erfolgen kann. Nur zum Teil handelt es sich bei diesen Effekten um eine Wirkung sichtbarer Strahlung. Im allgemeinen wird der Haupteffekt durch das Ultraviolett erzielt. Während der sog. Hertz-Effekt, die Veränderung in der Entladung einer Funkenstrecke infolge Belichtung, für uns keine direkte Bedeutung hat, kommt dem Hallwachs-Effekt größeres Interesse zu. Er besagt, daß negativ geladene Körper unter dem Einflusse des Lichtes ihre elektrische Ladung verlieren. Diese Erscheinung, die bei den verschiedensten Wellenlängen, wenn auch in wechselnder Stärke, auftritt, wurde zunächst an Metallen festgestellt, doch wurde später, besonders von Knoblauch, gezeigt, daß auch eine große Anzahl anderer Substanzen, anorganischer wie organischer, in gleicher Weise entladen werden können. Es handelt sich um eine außerordentlich weitverbreitete Erscheinung (Literatur s. bei Ries (7)), die sich namentlich auch auf fluoreszierende Körper erstreckt, was für biologische Verhältnisse von Wichtigkeit sein könnte [Stark und Steubing] (8). Flüssigkeiten sind gleichfalls lichtelektrisch empfindlich; viele wässerige Anilinfarbstofflöungen sowie Lösungen fluoreszierender Farbstoffe zeigen das Phänomen, wobei zwischen Fluoreszenz und lichtelektrischem Effekt gewisse Beziehungen obwalten.

Wenn auch sichere Brücken noch nicht geschlagen sind, so scheint es doch, daß die Entstehung von Strömen bei Belichtung, begründet auf Potentialänderungen, mit den eben beschriebenen Erscheinungen im Zusammenhange steht. Sie beanspruchen in erster Linie biologisches Interesse. Zuerst hat Becquerel gezeigt, daß ein elektrischer Strom entsteht, wenn eine von zwei Elektroden, die in die Lösung eines Elektrolyten tauchen, belichtet wird, und zwar läuft der Strom im Element von der dunklen zur bestrahlten Elektrode. Dieser Vorgang, dessen Grundlagen durch eine Reihe von Autoren weiter ausgebaut und für verschiedene Elektrolyte und Elektrodenmaterialien ausprobiert worden ist, gibt verhältnismäßig erhebliche Ströme, so daß Becquerel sie zur Konstruktion eines Aktinometers benutzen konnte. Goldmann (9) vermochte das Auftreten solcher Ströme bei Anwendung fluoreszierender Substanzen als Zwischenflüssigkeit zu zeigen. Auch wird die Empfindlichkeit von Elektroden durch Überziehen mit einer Farbstoffschicht sehr erheblich gesteigert [Rigollot] (10). Zwischen Intensität des Lichtes und Stromstärke existieren deutliche Zusammenhänge, bei geringen Lichtintensitäten waltet Proportionalität ob. Ferner bestehen Beziehungen zur Wellenlänge der einwirkenden Strahlung; es scheint auch hier, daß es sich im wesentlichen um die Stärke der Absorption handelt und daß die Strahlen am intensivsten wirken, die am meisten absorbiert werden. Es ist damit zu rechnen, daß diese rein physikalischen, lichtelektrischen Vorgänge auch die erste Stufe bilden für die physikalisch-chemischen und chemischen Umänderungen, welche durch das Licht hervorgerufen werden.

Von physikalisch-chemischen Phänomenen verdienen unsere höchste Beachtung die Veränderungen, welche das Licht in bezug auf Vergröberung der Teilchengröße erzeugt; es scheint erwiesen zu sein, daß durch Lichtwirkung eine Bildung von Kolloiden aus Kristalloiden erfolgen kann, ein Prozeß, der deshalb des Interesses wert ist, weil ja fast die gesamte lebende Substanz sich aus Kolloiden aufbaut. Einschlägige Versuche liegen vor von Amann (11), der die Bildung von Submikronen aus zunächst optisch leeren Lösungen von Schwefel in verschiedenen Lösungsmitteln zeigen konnte, und in ähnlicher Weise sah Siedentopf (12) die Bildung kolloiden Schwefels aus kristallinem. Analoge Untersuchungen an Gold

stammen von Hartwagener. Anschließend an diese erste Stufe der Teilchenvergrößerung erfolgt nach Beobachtungen von Nordensen eine Vergrößerung kolloider Metallteilchen im Lichte. Die Teilchenvergrößerung geht noch weiter, bis zur Koagulation, die besonders von Bovie (13) studiert wurde. Katalysatoren können diesen Prozeß beschleunigen. Hier dürften vor allem Eisenspuren (Neuberg) in Frage kommen, die in der lebenden Substanz außerordentlich weit verbreitet sind. Es ist noch nicht geklärt, ob solche Photokatalysatoren bei der Koagulation von Proteinlösungen durch kurzwellige Strahlen eine Rolle spielen.

Bemerkenswerte Beziehungen bestehen nun zwischen dem Grad der Dispersität, also der Größe der Teilchen, und der Absorption, und so kommen wir wiederum zu der Erscheinung, daß durch Lichtwirkung Veränderungen ausgelöst werden können, die ihrerseits auch die Aufnahme der Strahlung modifizieren. Solche Untersuchungen stammen von Svedberg und Pihlblad, nach denen grobe Zerteilungen, also große Teilchen, und ebenso molekulardisperse Lösungen, also kleinste Teilchen, das Licht in geringerem Maße absorbieren als kolloidale Lösungen, die bezüglich der Teilchengröße in der Mitte stehen. Ferner verschiebt sich die Absorption für die verschiedenen Farben nach der Größe der Teilchen. Nach Untersuchungen von W. Ostwald (14) ist der Farbenumschlag mancher Indikatoren, insbesondere des von ihm genau studierten Kongorubins, durch die Teilchengröße bedingt: während die rote Lösung hochdispers ist, erfolgt der Umschlag in blau unter Teilchenvergröberung, und so verschiebt sich die Absorption mit der Teilchengröße. Übrigens gilt eine ähnliche Regel auch für andere Farbstoffe, ohne daß dabei Kolloidbildung nachgewiesen wäre; nach der Nietzkischen Regel verschiebt sich ceteris paribus die Färbung mit steigender Molekülgröße von gelb nach blau. Freilich sind manche Dinge, besonders der Zusammenhang von Absorption und Kolloiditätsgrad, noch umstritten; immerhin darf man aber sagen, daß diesen Verhältnissen für die Absorption und, biologisch gesprochen, für das Leben wohl eine Bedeutung zukommt.

Am genauesten studiert sind die Endeffekte der Lichtwirkung, die chemischen Leistungen. Prinzipiell muß man hier unterscheiden zwischen Prozessen, welche durch die Lichtwirkung allein vor sich gehen, und solchen, bei denen intermediär ein Katalysator wirkt. Viele der zu besprechenden Reaktionen können in beide Kategorien gruppiert werden in dem Sinne, daß der Katalysator den Vorgang lediglich beschleunigt, der auch im Licht ohne Katalysator erkennbar abläuft. Andere Reaktionen dagegen werden erst durch Zusatz eines Katalysators praktisch ermöglicht. Bezüglich der Art der Reaktionen unterscheidet man am besten zunächst die, welche ohne Veränderung der Bruttoformel vor sich gehen — Isomerisationen und Polymerisationen — sodann die Oxydationen und Reduktionen, ferner Photolysen und Photosynthesen; ihnen schließen sich die gekoppelten Reaktionen an, die also aus mehreren der genannten Grundumsetzungen bestehen.

Die photochemischen Reaktionen spielen sich nach den auch sonst geltenden Regeln ab: es gilt für sie ausnahmslos das Massenwirkungsgesetz. So können die Reaktionen in ihren Gleichgewichtsverschiebungen erhebliche Unterschiede zeigen. Einerseits ist es möglich, daß die Reaktion von einem labilen zu einem stabileren Zustande führt; in solchem Falle wird der Vorgang nur unter Zufuhr fremder Energie umkehrbar sein. Andererseits kann durch die Lichtwirkung aus einem stabilen System ein labileres entstehen; ein solcher Prozeß wird sich bei Lichtabschluß leicht umkehren lassen, indem er in den stabileren Dunkelzustand zurückgeht. Derartige Verhältnisse finden wir vielfach durch Nebenumstände kompliziert; bisweilen wird durch die Lichtwirkung ein neuer Körper gebildet, der nun seinerseits erst in eine Reaktion

eintritt. In solchen Fällen folgt einer primären Umwandlung durch das Licht ein zweiter, rein chemischer Vorgang, der mit der Lichtwirkung gar nichts mehr zu tun hat und für den auch andere Gesetze gelten. Besonders der Temperatureinfluß spielt eine ganz andere Rolle bei gewöhnlichen chemischen Reaktionen als bei Lichtreaktionen. Während erstere durch Temperaturerhöhung außerordentlich beschleunigt werden in dem Sinne, daß der Temperaturkoeffizient, der das Verhältnis der Reaktionsgeschwindigkeiten des gleichen Prozesses bei einer Temperaturdifferenz von 10° angibt, 2—3 beträgt, liegt der Temperaturkoeffizient der photochemischen Reaktionen sehr niedrig: mit anderen Worten, die Temperatur ist fast ohne Einfluß auf den Ablauf photochemischer Reaktionen. Auch Art und Dauer der Lichtwirkung ist sehr verschieden; in manchen Fällen genügt kurze Bestrahlung, indem diese gewissermaßen nur auslösend wirkt, in anderen Fällen ist fortwährende Zuführung von Lichtenergie notwendig.

Weigert (15) teilt die photochemischen Prozesse in arbeitsspeichernde und arbeitsleistende. Zu den ersteren gehören vor allen Dingen die reversiblen Vorgänge, ferner auch eine Reihe von gekoppelten Reaktionen. Alle diese Prozesse brauchen dauernd Zufuhr von Lichtenergie, während bei den arbeitsleistenden oftmals ein Anstoß genügt; hier handelt es sich im wesentlichen um komplexe Reaktionen mit einem stabilen Endzustand, der irreversibel ist. Diese Prozesse dürften das größte Kontingent der „Lichtprozesse" ausmachen, um so mehr, als auch die durch Sensibilisatoren katalysierten Vorgänge in der Hauptsache dieser Kategorie zuzuordnen sind.

Die erste Gruppe der chemischen Reaktionen bilden solche, bei denen ein neuer Körper der gleichen Bruttoformel auftritt, und zwar entweder bei gleichbleibendem Molekulargewicht (Isomerisation) und unter Vervielfachung des Molekulargewichts bei gleichbleibender Bruttoformel (Polymerisation). Die erste Gruppe gliedert sich in umkehrbare Prozesse, die Marckwald als phototrope bezeichnet, und in nicht umkehrbare. Phototrope Erscheinungen sind wiederholt festgestellt worden; am bekanntesten sind die Vorgänge bei den von Stobbe (16) untersuchten Abkömmlingen der Bernsteinsäure, den Fulgiden, die unter Licht ihre Färbung ändern, um im Dunkeln wieder die Ursprungsfarbe anzunehmen. Zu den nicht umkehrbaren Isomerisationen gehört die Verwandlung des gelben Phosphors in die rote Varietät unter dem Einflusse des Lichtes, die bekannte Umänderung des roten Zinnobers in die schwarze Modifikation u. a. m. Während in diesen Fällen der Körper chemisch gewissermaßen unverändert bleibt und wahrscheinlich nur eine Umlagerung der Atome stattfindet, ist bei manchen anderen Prozessen eine Veränderung der Strukturformel die Folge der Besonnung, so daß trotz gleichbleibender Bruttoformel eine vollständige Veränderung Platz greift; wie Ciamician und Silber (17) gezeigt haben, geht z. B. der o-Nitro-benzaldehyd unter Sauerstoffverschiebung in o-Nitroso-benzoesäure über.

Eine große Rolle spielen die auch biologisch zum Teil wichtigen Polymerisationen. Die einfachste ist die Verwandlung des Sauerstoffs in Ozon, die man auch als Oxydation auffassen kann. Chemisch interessant ist die Überführung des Anthrazen in Dianthrazen, ein Prozeß, der den Typus der reversiblen lichtchemischen Umsetzungen bildet, da er im Dunkeln vollständig wieder zurückgeht. Eine Polymerisation in weitestem Sinne, die durch das Gleichbleiben der Bruttoformel unter im übrigen weitgehender Änderung der chemischen Eigenschaften erfolgt, ist die Überführung des Formaldehyds in Kohlenhydrat, ein Prozeß, der nach der Hypothese von Baeyer (18) den biologisch so wichtigen Vorgang der Zuckerbildung in der Pflanze charakterisiert.

Vielleicht die größte biologische Bedeutung kommt den Oxydationen zu. Der für diese nötige Sauerstoff muß naturgemäß entweder als solcher zugeführt oder einer anderen Substanz entnommen werden, die nun ihrerseits reduziert

wird. So gehen Oxydations- und Reduktionsvorgänge Hand in Hand; sie imponieren aber je nach der Wichtigkeit der einen bzw. der Gleichgültigkeit der anderen Komponente als oxydative oder reduktive Wirkungen. Dazwischen stehen solche Prozesse, bei denen der Sauerstoff abgebende und der Sauerstoff aufnehmende Teil in physiologisch wichtiger und erkennbarer Weise verändert wird. Oxydative Prozesse finden wir häufig bei anorganischen Substanzen. Hierzu gehört außer der Ozonbildung die Entstehung von Wasser aus Wasserstoff und Sauerstoff, die Oxydation des Kohlenoxyds zu Kohlensäure, die der schwefligen Säure zu Schwefelsäure. Sehr weitgehend sind die Oxydationen organischer Körper, die in vielen Fällen bis zu den Endprodukten, meist Kohlensäure und Wasser, führen. Der einfachste Vorgang ist die Oxydation des Azetylens unter Lichtwirkung, bei der aus 2 Molekülen Azetylen und 5 Mol. Sauerstoff 4 Mol. Kohlendioxyd und 2 Mol. Wasser entstehen. Bei der Autoxydation wässeriger Lösungen tritt unter Lichtwirkung vielfach Wasserstoffsuperoxyd auf, das dann oxydierend auf zahlreiche organische Körper wirkt. Dieser Mechanismus ist außerordentlich verbreitet und ihm dürften auch bei den später zu besprechenden Lichtwirkungen, die unter Zusatz von Katalysatoren sich abspielen, im wesentlichen die erfolgenden Umsetzungen zuzuschreiben sein. Ein Prototyp ist die Oxydation der Oxalsäure, für welche die Gleichung $C_2O_4H_2 + O = 2CO_2 + H_2O$ gilt. Sie dürfte die Zerstörung der bei den Pflanzen in reichlichem Maße gebildeten Oxalsäure begünstigen, die sonst als Gift wirken würde; es ist nicht ausgeschlossen, daß auch im tierischen Organismus ähnliche Prozesse erfolgen können. Eine große Reihe anderer Autoxydationen sind beschrieben worden; besonders hat der unlängst verstorbene italienische Forscher Ciamician auf diesem Gebiete zusammen mit Silber erfolgreich gearbeitet.

Bei den Oxydationswirkungen können Katalysatoren einen bedeutenden Einfluß ausüben. Besonders Eisen-, Mangan- und Uransalze sind, wie Neuberg (19) gezeigt hat, als Förderer der Oxydationswirkungen wie auch mancher anderer photochemischer Prozesse anzusehen. Dabei ist folgender Umstand von besonderer Wichtigkeit. Viele Lichtreaktionen, wie die von Ciamician und Silber, laufen in Wochen und Monaten ab. Die photokatalytischen Prozesse, die Neuberg mit mineralischen Katalysatoren herbeiführte, spielen sich in Minuten und Stunden ab.

Daß es namentlich die Eisenverbindungen sind, die sich als so wirksam erweisen, verleiht den Erscheinungen eine besondere biologische Bedeutung, da Eisen ja das Schwermetall ist, das wir im Organismus des Menschen und der Tiere vor allem antreffen. Unter Eisenzusatz erfolgen die Lichtreaktionen erheblich schneller und intensiver als ohne diesen. Umsetzungen, die sich sonst gar nicht oder mit kaum merkbarer Geschwindigkeit vollziehen, nehmen demgemäß einen Reaktionsablauf, daß sie auch im lebenden Organismus als möglich erscheinen. Das Gebiet dieser Umwandlungen ist außerordentlich groß. Alkohole werden zu Aldehyden oxydiert, mehrwertige Alkohole zu Oxyaldehyden und Oxyketonen; aus Säuren entstehen Aldehyd- oder Ketoverbindungen, Aldehyde werden zu Säuren. Auch Oxydationen im Kern können auftreten; so wird z. B. Benzoesäure in Salizylsäure verwandelt. Andererseits erfolgen weitgehende Umformungen; so bildet sich Azetaldehyd aus einer ganzen Reihe von Säuren, wie z. B. aus der Propionsäure, Crotonsäure, der Bernsteinsäure, der Weinsäure (Neuberg).

Daraus erhellt die Bedeutung des als Katalysator fungierenden Eisensalzes; denn diese Säuren selbst sind nach A. Kailan sogar gegen das Licht einer Quecksilberquarzlampe beständig, wenn ihre reinen wässerigen Lösungen bestrahlt werden.

Die besonders leichte photochemische Bildung des Azetaldehyds erlangt noch dadurch Bedeutung, daß der Azetaldehyd ein sehr wichtiges Produkt des inter-

mediären Stoffwechsels darstellt. Nach den neueren Untersuchungen Neubergs und seiner Mitarbeiter ist die Entstehung und Aufgabe des Azetaldehyds im Kohlenhydratumsatz aufgedeckt und geklärt [s. die Zusammenfassung in den Berichten d. deutsch. chem. Gesellschaft (103)].

Zu den oxydativen Lichtprozessen gehört auch die Bildung von Farbstoffen aus farblosen Vorstufen. Die Leukobasen mancher Anilinfarbstoffe, besonders der Triphenylmethanreihe, werden durch Licht in die Farbstoffe selbst übergeführt [Gros] (20). Nach Friedländer (21) entsteht der antike Purpur durch Belichtung aus einer farblosen Vorstufe, die von einer Schneckenart gebildet wird. Neuberg und Schwenk (22) taten dar, daß die Bildung von Indigo aus Indikan durch natürliches und künstliches Licht in erheblichem Maße beschleunigt wird, wenn Spuren von Eisen- oder Manganverbindungen zugegen sind. Kurz erwähnt werden müssen hier noch die Veränderungen der fetten Öle durch Sauerstoff bei Lichtgegenwart, Prozesse, die in der Technik außerordentliche Bedeutung erlangt haben. Auch Entfärbungen werden häufig beobachtet. Bekannt ist das Bleichen der Gewebe am Lichte, und geläufig ist ebenfalls das Ausbleichen natürlicher und künstlicher Farben durch Besonnung. Unter den Anilinfarben sind viele nicht „lichtecht". Auch Farbstoffe des Tier- und Pflanzenkörpers können unter Umständen durch Licht oxydativ entfärbt werden, so die Lösung des Sehpurpurs aus der Netzhaut [Kühne, Köttgen und Abelsdorff] (23) und auch Lösungen von Chlorophyll [Bierry] (24), endlich noch Farben der Schmetterlingsflügel [Capronnier] (25). Diese Beispiele könnten erheblich vermehrt werden.

Das Oxydationsvermögen oder, vielleicht richtiger gesagt, die oxydationssteigernde Wirkung des Lichtes erstreckt sich auf die verschiedenartigsten Substanzen. Nach Angaben von Rapp (26) werden auch die reinen wässerigen Lösungen mancher biologisch wichtiger Stoffe, wie Harnsäure, Hippursäure, Harnstoff, Aminosäuren im Lichte oxydativ verändert. Für Harnsäure hat dies Pincussen (27) bestätigen können, während für die anderen Substanzen Nachprüfungen nicht bestehen. Die noch genauer zu besprechenden Versuche Neubergs mit metallischen Lichtkatalysatoren sind anderer Art. Ganz ungeklärt sind bisher die im Lichte erfolgenden Umwandlungen des Cholesterins [Schulze und Winterstein] (28) sowie des Lezithins [Werner] (29); immerhin sind erhebliche Veränderungen dieser lebenswichtigen Stoffe festgestellt. Wahrscheinlich handelt es sich bei allen diesen Dingen um Oxydationen, die unter Mitwirkungen von Metallsalzspuren oder auch nach intermediärer Bildung von Wasserstoffsuperoxyd bezw. activiertem Sauerstoff erfolgen.

Spaltungen durch das Licht, Photolysen, sind sowohl bei anorganischen wie bei organischen Stoffen sehr häufig. Wir finden sie bei vielen biologisch wichtigen Körpern. Die aliphatischen Säuren werden prinzipiell so aufgespalten, daß Kohlendioxyd und ein entsprechender Kohlenwasserstoff entsteht; die aliphatischen Aldehyde zerfallen unter Bildung von Kohlenoxyd und dem entsprechenden Kohlenwasserstoff. Alle diese Reaktionen gehen besonders im kurzwelligen Lichte vor sich. Azeton erfährt nach Ciamician und Silber (30) einen „hydrolytischen" Zerfall in Essigsäure und Methan. Milchsäure spaltet bei Besonnung in Gegenwart metallischer Katalysatoren nach Neuberg (31, 32) Azetaldehyd ab, ein Verhalten, das auch Bolin konstatiert hat. Die Aldehydbildung bei Aufspaltung der Aminosäuren ist nach Neuberg eine ganz charakteristische Erscheinung; unter Umständen können bei mehrbasischen Aminosäuren auch Aldehydsäuren auftreten. Wir möchten darauf hinweisen, daß die Entstehung von Aldehyden biologisch große Bedeutung besitzt, da wir es bei den Karbonylkörpern mit außerordentlich reaktionsfähigen Stoffen zu tun haben, die dann weiter in verschiedener Weise verändert

werden können. So dürfte in vielen Fällen die Aldehydbildung nur der erste lichtchemische Prozeß sein, dem sich späterhin andere chemische anschließen.

Vielfach untersucht worden ist der Abbau der Kohlenhydrate im Licht, und es ist als Haupttatsache festzustellen, daß zunächst ein Abbau von den höchstmolekularen Produkten bis hinunter zu den Hexosen erfolgen kann. Stärke und Glykogen werden [Neuberg, l. c., Massol] (33) verzuckert; aus Inulin entsteht Lävulose, aus Stärke zum Teil Maltose. Auch diese Hydrolysen sind im wesentlichen an das kurz wellige Licht geknüpft, so daß weder Neuberg noch Berthelot und Gaudechon (34) eine Aufspaltung allein durch Sonnenlicht feststellen konnten. Es ist ultraviolette Strahlung nötig oder aber ein Katalysator. Der weitere Abbau der Monosen kann verschiedene Wege durchlaufen; so scheint die dem Aufbau nach der Baeyerschen Hypothese entgegengesetzte Spaltung in Formaldehyd und Kohlenoxyd möglich zu sein. Vielfach wurde die Bildung von Säuren beobachtet [Euler und Lindberg] (35); nach Neuberg erfolgt Osonbildung beim Abbau der Glukose, Arabinose und Xylose. Damit im Einklange stehen die Ergebnisse von Pincussen (36), der bei Belichtung von Zuckerlösungen Zunahme des Reduktionsvermögens festgestellt hat. Komplizierter scheinen die Aufspaltungen der Nukleinsäuren zu sein; Neuberg (l. c. 32) beobachtete Abspaltung von Ammoniak, Purinen, Kohlenhydrat und Phosphorsäure, Pincussen und Floros (37) Zunahme der Drehung unter augenscheinlicher Abspaltung von Kohlenhydratkomplexen. Harnsäure wird, wie erwähnt, schon am Licht ohne Katalysatoren oxydiert; diese Oxydation wird durch Zugabe fluoreszierender Substanzen (Pincussen, l. c.) sowie durch Metallsalze (Neuberg, l. c.) vermehrt; daß es sich hierbei um eine Wasserstoffsuperoxydwirkung handelt, die übrigens bei der Eosinwirkung von Noack (37a) nachgewiesen worden ist, wird auch dadurch glaubhaft gemacht, daß nach Ohta (38) der Abbau mit Wasserstoffsuperoxyd dem im Lichte sehr ähnlich ist. Neuberg hat wiederholt darauf hingewiesen; daß die Belichtung zu den gleichen Abbauprodukten führt, wie die Elektrolyse oder die Wasserstoffsuperoxydbehandlung organischer Stoffe.

Ziemlich widerstandsfähig scheinen reine Eiweißkörper gegen Licht zu sein, besonders gegen das physiologisch wirkende Sonnenlicht, wenn auch nach Untersuchungen aus dem Höberschen Institut [Mond] (38a) nicht unerhebliche physikalisch-chemische Veränderungen eintreten können. Eine Ausnahme macht die Gelatine, die nach mancher Richtung labiler ist und die unter Zusatz von Katalysatoren abgebaut wird (Neuberg). Der Hydrolyse schließen sich unmittelbar die bereits bei den Aminosäuren geschilderten Reaktionen an. Schwieriger scheint der Abbau des originären Eiweißmoleküls vonstatten zu gehen.

Diesen Aufspaltungen stehen auch Synthesen gegenüber, wenn sie auch nicht in so großer Zahl beobachtet wurden. Es ist bemerkenswert, daß nach Störmer und Ladewig (39) im ultravioletten Licht eine direkte Veresterung eintreten kann: z. B. bildet sich aus Benzoesäure in Methylalkohol unmittelbar der Benzoesäuremethylester, eine Reaktion, die pflanzenbiologisch wichtig ist, da sie vielleicht für die Esterbildungen mit verantwortlich sein kann. Nach Klinger (40) lassen sich manche organische Verbindungen durch Sonnenlicht ganz leicht synthetisieren, die man auf chemischem Wege nur durch gewaltsame oder raffinierte Methoden darzustellen vermag. Auf diese Reaktionen hier einzugehen, würde zu weit führen; es handelt sich bei den von verschiedenen Autoren, u. a. auch von Ciamician und Silber, untersuchten Vorgängen um solche, die biologisch direktes Interesse zurzeit nicht beanspruchen.

Ein Teil der geschilderten Prozesse verläuft im Licht ohne besondere Zusätze; es genügt, die Komponenten in einer für die wirksamen Strahlen durchgängigen

Flasche zu belichten. Die direkte biologische Auswertung scheitert jedoch daran, daß die Vorgänge lange Zeit, oft Monate, in Anspruch nehmen. Im lebenden Organismus kann man mit solchen langsam verlaufenden Reaktionen meist sehr wenig anfangen; es gelingt aber, ähnlich wie bei sonstigen chemischen Prozessen, auch die Lichtprozesse zu beschleunigen, zu katalysieren, wenn gewisse Substanzen vorhanden sind. Solche sind die fluoreszierenden Farbstoffe und vor allem Metallionen. Es handelt sich dabei um Wirkungen, die so schnell erfolgen, daß ihre Möglichkeit im lebenden Körper ohne weiteres zugegeben werden kann. Bezüglich der metallischen Katalysatoren hat besonders Neuberg (l. c. 31, 32) eine große Reihe von Versuchen angestellt; zuerst mit Uran, kurz darauf mit dem biologisch zweifellos wichtigeren Eisen und Mangan; hier ist besonders zu betonen, daß auch die Wirkung der Eisenwässer vielleicht zum Teil in dem Sinne zu deuten ist, daß hierdurch eine Katalysierung lichtchemischer Prozesse erzielt wird. Hier kurz die von Neuberg gefundenen Hauptreaktionen:

1. Alkohole werden zu Aldehyden.
2. Polyalkohole werden zu Oxyaldehyden oder Oxyketonen.
3. Säuren werden zu Aldehyd- und Ketoverbindungen, die teils eine gleiche C-Atomzahl besitzen, teils kohlenstoffärmer als das Ausgangsmaterial sind.
4. Monosaccharide werden zum Teil in Osone verwandelt.
5. Disaccharide werden invertiert.
6. Polysaccharide werden hydrolysiert.
7. Glykoside werden hydrolytisch gespalten.
8. α-Aminosäuren werden unter Loslösung von Ammoniak in den um ein C-Atom ärmeren Aldehyd umgewandelt. Analog ist die Veränderung der Oxyaminosäuren. Aminodikarbonsäuren gehen in Aldehydsäuren über, ebenso zum Teil das Glykokoll.
9. Glyzeride werden partiell verseift.
10. Gepaarte Phosphorsäuren zeigen, soweit sie sich von Polyhydroxylverbindungen ableiten, eine Umwandlung ähnlich derjenigen der zugrunde liegenden organischen Bestandteile.
11. Peptone und Proteine werden zunächst hydrolysiert.

In ähnlicher Richtung scheinen auch manche fluoreszierenden Farbstoffe zu wirken, die in biologischer Hinsicht in erster Linie von v. Tappeiner und Jodlbauer (41) studiert worden sind. Das gilt wenigstens für manche Farbstoffe, bei denen durch Übertragung Oxydationen stattfinden, indem der sensibilisierende Farbstoff zunächst oxydiert und dann durch Abgabe des aufgenommenen Sauerstoffs an die beeinflußte Substanz wieder reduziert wird. Ein solches Verhalten haben Neuberg und Galambos (42) für die Farbstoffe der Anthracengruppe nachweisen können. Es wird die Anthrachinonstufe im Licht durch das organische Substrat in die Hydrochinonstufe übergeführt, die in Gegenwart des Luftsauerstoffes wieder das Chinongebilde liefert. Es handelt sich also um eine Übertragungskatalyse, deren treibende Kraft im Lichte gelegen ist. Der Übergang Chinon $\rightleftarrows$ Hydrochinon entspricht durchaus dem von Eisenoxyd $\rightleftarrows$ Eisenoxydul, also dem Mechanismus, der die Lichteffekte der metallischen Katalysatoren bedingt. Der Effekt anderer fluoreszierender Farbstoffe ist noch wenig geklärt. Es wäre z. B. denkbar, daß es sich um Ausschaltung bzw. Verstärkung bestimmter Strahlengruppen handelt. Die Zusatzwirkung „sensibilisierender Farbstoffe" ist außer von Tappeiner und Jodlbauer von einer Reihe anderer Autoren gezeigt worden, so von Pincussen an Kohlenhydraten und Nukleinkörpern, ganz abgesehen von der Beschleunigung einzelner Umsetzungen anderer organischer Körper.

Diese chemischen Lichtvorgänge haben Analoga in der Wirkung anderer Kräfte, insbesondere in der der elektrischen Ströme. Neuberg (42a) hat diese Ähnlichkeit für den elektrischen Gleichstrom für eine ganze Reihe von Fällen ermittelt und auch Pincussen erhob ähnliche Befunde sowohl für den Gleichstrom als auch für den hochgespannten Wechselstrom. Der elektrische Strom wirkt gewissermaßen fermentartig, katalysierend ein. Mindestens zum Teil dürften auch hier zunächst intermediäre Prozesse einsetzen, bei den Oxydationen z. B. eine Bildung von Wasserstoffsuperoxyd. Sehr leicht möglich ist es, daß die Ähnlichkeit darauf zurückzuführen ist, daß elektrochemische Vorgänge auch durch Bestrahlung zunächst einmal auftreten, worauf oben bereits hingewiesen wurde. Fichter (43) beurteilt die Einwirkung des elektrischen Stromes auf die Umwandlung organischer Verbindungen z. T. anders.

Es ist auch ein Vergleich zwischen den Leistungen des Lichtes und der elektrischen Dunkelentladung möglich. Sie bewirkt z. B. die Bildung von Ozon aus Sauerstoff, eine umkehrbare Reaktion, die wahrscheinlich der Grund für die oxydierende Wirkung dieser Energieform ist. W. Loeb (44) hat die Wirkung der stillen Entladung auf eine Reihe organischer Prozesse geprüft und dabei Kondensationswirkungen, Synthesen, feststellen können. Unter ihnen nimmt den ersten Platz die Entstehung von Kohlenhydrat aus Wasser und Kohlendioxyd ein, bei der zuförderst auf verschiedenen Wegen Formaldehyd auftreten kann, aus dem sich dann Glykolaldehyd bildet; durch Polymerisation entsteht daraus Akrose. Auch Spaltung von Aldehyden zu Kohlenoxyd und Kohlenwasserstoffen, Abbau von Säuren unter Bildung von Kohlendioxyd findet unter dem Einflusse der stillen Entladung statt. Von biologischem Interesse sind die von Berthelot und später von Losanitsch (45) studierten Umsetzungen, aus denen sich zu ergeben scheint, daß bei der dunklen elektrischen Entladung die verschiedenartigsten organischen Substanzen Stickstoff aufnehmen und sich dabei zu höhermolekularen Körpern kondensieren können.

So finden wir eine Parallelität zwischen der Lichtwirkung und der elektrischen Wirkung, ein Ausfluß der Tatsache, daß es sich letzten Endes um gleichwertige Kräfte handelt, um Schwingungszustände desselben Mediums; daß übrigens andere Strahlen, so die Röntgenstrahlen und auch die Radiumstrahlen, in diesem Sinne wahrscheinlich besonders die γ-Strahlen, ganz ähnliche Wirkungen auslösen können, sei nur kurz bemerkt.

Die Wirkungen des Lichtes auf den Stoffwechsel sind nach diesen chemischen Auseinandersetzungen zum großen Teil gegeben, zum Teil wohl erklärbar. Freilich muß man bedenken, daß dem Licht für den tierischen Organismus keine zwingende und ausschlaggebende Bedeutung bisher zugewiesen werden darf, soweit die normalen Lebensfunktionen in Frage stehen. Immerhin können manche lichtchemische Prozesse, die im Reagenzglas erfolgen, auch im Organismus in ähnlicher Weise vor sich gehen. Doch finden wir hier noch einen Faktor, auf den bei den bisher geschilderten Reaktionen noch keine Rücksicht genommen ist, nämlich die Enzyme. Die fermentativen Vorgänge werden vom Licht zum Teil ganz anders beeinflußt werden können als die rein chemischen Reaktionen, einschließlich derer, die durch irgendwelche anorganischen Katalysatoren, auch zum Teil durch Farbstoffe, katalysiert sind. Die verschiedensten Untersucher [vgl. C. Oppenheimer, Die Fermente] (46) sind sich darin einig, daß kurzwellige Strahlen schon in verhältnismäßig geringen Mengen die Fermente schädigen. Die allgemeinen Gesetze der Lichtwirkung auf Fermente sind neuerdings genauer von Pincussen (47) studiert worden. Es zeigte sich u. a. eine Abhängigkeit von der Konzentration, der Wasserstoffzahl sowie von den verschiedenen anwesenden Substanzen, besonders von Salzen und Adsorbentien. Teils ist für die Schädigung Sauerstoff nötig, teils nicht, so z. B. bei der Invertase [Jodlbauer] (48).

Wahrscheinlich dürfte sein, daß sichtbares Licht nur bei Sauerstoffgegenwart wirkt; vermutlich geht auch hier die Wirkung über ein intermediäres, Sauerstoff abgebendes Produkt, besonders wohl also das Wasserstoffsuperoxyd. In kleinen Dosen scheint dagegen eine Steigerung der Fermentwirkung möglich, wie Bering (49) an der Meerrettichoxydase zeigte; wir haben hier eine Anwendung eines häufig beobachteten physiologischen Gesetzes, daß schwache Reize steigern, starke hemmend wirken. Auch der Effekt des Lichtes auf Fermente wird durch Katalysatoren beeinflußt. Tappeiner, Jodlbauer und Mitarbeiter (50) haben an vielen Objekten nachgewiesen, daß sonst unwirksame Lichtmengen durch sensibilisierende Farbstoffe bis zur zerstörenden Kraft gesteigert werden. Die Versuche von Pincussen und seinen Mitarbeitern ergaben verhältnismäßig geringe Veränderungen für das Nuklein spaltende Ferment des Serums, dagegen eine deutliche Hemmung der Serumesterase unter Lichtbestrahlung; sie ist besonders groß bei Zusatz sensibilisierender Farbstoffe, wobei als Strahlenquelle hochkerziges Glühlicht angewendet wurde. Seltsamerweise waren die Röntgenstrahlen ganz ohne Einfluß (51).

In ähnlicher Weise werden auch die Toxine durch Licht alteriert; z. B. wird das Diphtherietoxin (52) durch ultraviolettes Licht deutlich abgeschwächt. Jodlbauer und v. Tappeiner konnten es durch Belichtung unter gleichzeitiger Sensibilisierung so verändern, daß die Tiere nach einer 120fachen letalen Dosis gesund blieben; das Toxin bewahrte dabei seine Fähigkeit, Antikörper zu bilden. Auch das Komplement wird geschädigt, und zwar durch ultraviolette Strahlen wie durch sichtbares Licht, hier unter Zugabe sensibilisierender Substanz. Wieweit die Ambozeptoren geschädigt werden, hängt ebenfalls von der Lichtqualität ab (53). Nicht geklärt ist bisher die Frage, inwieweit Bestrahlung der Tiere auf ihr Vermögen, Antikörper zu produzieren, und auf den Komplementgehalt ihres Blutes wirkt. Es scheint, daß auch hier je nach der Art der angewendeten Strahlung und eventueller Katalysatoren die Verhältnisse verschieden liegen. So ist nach unveröffentlichten Versuchen von Pincussen eine Komplementabnahme im Serum der sensibilisierten und dann bestrahlten Tiere festzustellen. Sicher ist ferner eine Beeinflussung der Fermente im Tiere nach erfolgter Bestrahlung. Wie Pincussen mit einer Reihe von Mitarbeitern beobachtet hat, tritt auf Bestrahlung der mit sensibilisierenden Farbstoffen vorbehandelten Tiere eine Erhöhung der eiweißspaltenden (54) und nukleinspaltenden Fähigkeit des Blutes auf. Auch andere Energiequellen verhalten sich in der Regel ähnlich. Eine deutliche Abweichung besteht jedoch in betreff der Esterase des Blutserums, des normalerweise stets vorhandenen fettspaltenden Fermentes, bezüglich deren eine Bestrahlung der Tiere sich als unwirksam erwies. Eine Behandlung mit elektrischen Strömen ergab eine deutliche Zunahme dieses Fermentes (l. c. 50, 51). In der Hauptsache dürften solche fermentativen Äußerungen darauf zurückzuführen sein, daß infolge gesteigerten Zellzerfalls eine größere Ausschwemmung von Fermenten in das Blut stattfindet; die äußerste Konsequenz wird durch Versuche von Pfeiffer (55) gegeben, der eine interessante Parallele zwischen dem Lichttod und dem Verbrühungstode zieht: zwei Prozesse, die durch enormen Zellzerfall und Überladung des Blutes mit Fermenten gekennzeichnet sind.

Reine Stoffwechselversuche unter Belichtung liegen nur in geringer Anzahl vor. Moleschott (56) zeigte in der Mitte des vorigen Jahrhunderts, daß die Verbrennungsprozesse bei Fröschen unter Lichtwirkung erheblich gesteigert sind, und später haben Fubini und Benedicenti (57) an winterschlafenden Tieren einen gleichen Befund erhoben. Die Versuche der letzteren sollten vor allem den Einwand entkräften, daß die gesteigerten Oxydationsvorgänge auf erhöhte Bewegung zurückzuführen

seien; hatten doch Bidder und Schmidt (58) angegeben, daß hungernde Tiere im Licht viel schneller verfallen als im Dunkeln, eine Tatsache, die lediglich auf Kosten der im Licht erhöhten Muskeltätigkeit gesetzt wurde. Neue Untersuchungen von Alexander und Revecz (59) nehmen als Grund zentrale Reize an, die primär durch das Sehorgan den Körper erreichen. Den oben erwähnten Angaben stehen nur bedeutungsvolle Versuche von Jacques Loeb (60) an Schmetterlingspuppen entgegen, in denen ein Einfluß des Lichtes nicht konstatiert werden konnte. Über allgemeine Stoffwechselbeeinflussungen haben Durig, Neuberg und Zuntz (60a) Mitteilungen gemacht. Die erzielten Wirkungen sind wohl deutbar, aber namentlich in therapeutischer Hinsicht (vgl. die Vorgänge bei Rachitis) in ihren letzten Grundzügen noch nicht aufgeklärt. Beachtenswert erscheint, daß der Prozeß der Zellteilung durch Belichtung gefördert, bei starker Bestrahlung aber auch gehemmt werden kann.

Dürftig sind die Angaben über Veränderungen chemischer Prozesse im Tierkörper. Pincussen (l. c.) konnte eine deutliche Vermehrung der Stickstoffausscheidung bei sensibilisierten und intensiv bestrahlten Menschen und Tieren nachweisen, was ja mit den vorgenannten Angaben betreffs der Fermente im Einklang steht. Weitere Versuche desselben Autors ergaben deutlich oxydativen Abbau verschiedener Substanzen; so wird die im allgemeinen als ein Stoffwechselendprodukt geltende Harnsäure beim Menschen ebenso wie das die gleiche Stelle einnehmende Allantoin beim Hunde weiter zu Oxalsäure abgebaut und auch diese noch unter weiterer Oxydation einer tieferen Spaltung zugeführt (61, 62). Ganz ähnliche Verhältnisse wurden beim Diabetiker betreffs der Zuckerverbrennung gefunden. Bei mit Eosin sensibilisierten und bestrahlten Diabetikern nahm der Harnzucker deutlich ab und auch der Blutzucker fiel in ähnlichem Maße (63). Während es sich hier augenscheinlich um ausgesprochene oxydative Wirkungen handelt, ist der Mechanismus der von Hoogenhuize und Best (64) studierten Kreatinausscheidung chemisch nicht so einfach zu definieren. Es wäre wohl möglich, daß die erhöhte Kreatinausscheidung ein Ausdruck der durch das Licht veranlaßten größeren Muskeltätigkeit ist.

Kurz muß noch auf die Wirkung der Strahlen auf das Blut eingegangen werden. Sichergestellt ist [Pfeiffer (65), Sacharoff und H. Sachs (65a), Meyer-Betz (66), Hausmann (67)], daß mit Farbstoffen sensibilisierte rote Blutkörperchen — und ganz identisch wirken die in Pflanzen und im Tierkörper vorkommenden Farbstoffe Chlorophyll und die Porphyrine — im Licht hämolysiert werden. Auch Veränderungen des Blutfarbstoffes wurden beobachtet. Wichtig sind diese Erscheinungen klinisch dadurch geworden, daß sie wahrscheinlich der Grund sind für eine Reihe von Hautaffektionen, wie z. B. der Hydroa vacciniformis. Besonders Hausmann hat die Bedeutung der Porphyrine, die ja aus Blutfarbstoff durch Einwirkung verschiedener chemischer Agenzien und auch auf biologischem Wege entstehen können, wiederholt betont. Es scheint, daß solche Sensibilisierungsprozesse auch für manche anderen Hautkrankheiten und Anomalien Bedeutung haben; hier kommt in erster Linie die Pellagra (vgl. weiter unten) in Betracht; auch die Buchweizenkrankheit der Rinder, die sich ebenfalls in Hauterythemen manifestiert, gehört in diese Gruppe. Durch Injektion von künstlichen Farbstoffen sowie von Porphyrinen haben Fischer (67a) und Hausmann dies dartun können.

Vermag also zu starke Lichteinwirkung, wenn sie nicht durch genügende Schutzmaßnahmen, sei es künstlicher, sei es natürlicher Art — hier kommt das Pigment in Frage — paralysiert wird, zu schweren Schädigungen zu führen, so ist eine gewisse Lichtmenge für den tierischen Organismus zweifellos von Vorteil. Zwar bestehen vielseitige Angaben darüber, daß die Entwicklung höherer sowie niederer Tiere im Dunkeln in gleicher Weise erfolgt, wie unter Belichtung; immerhin scheint es, daß

unter Umständen eine gewisse Menge Licht notwendig ist. Zwar spielt das Licht für Tier und Mensch nicht die dominierende Rolle wie für die Pflanze, deren Keimlinge sich im Dunkeln zu dünnen, kraftlosen Individuen entwickeln und erst ergrünen und kräftig werden, wenn man sie ans Tageslicht bringt. Wir finden aber auch beim Menschen vergleichbare Erscheinungen, und die lang aufgeschossenen, blassen Individuen, die ohne genügenden Lichtgenuß in den dunkeln Wohnungen der Großstädte aufwachsen — ein Typ, für den F. Kraus den Namen kümmernder Hochwuchs geprägt hat — sind den unter Lichtabschluß entwickelten etiolierten Pflanzen an die Seite zu stellen. Unter anderem dürfte auch hier die Blutbildung eine Rolle spielen, die nach mancherlei Angaben im Licht vermehrt ist. [Ob sie mit sekundär entstandenen Gasen (Stickoxydul) etwas zu tun hat, wie Kestner kürzlich angab, ist noch nicht entschieden; vgl. hierzu H. Griesbach, Klin. Wochenschr. Bd. 3, S. 152.] Die Zahl der roten Blutkörperchen bei ständig unter Tag arbeitenden Tieren ändert sich kaum, wie überhaupt der Aufenthalt im Dunkeln auf ausgewachsene Individuen ohne erheblichen Einfluß zu sein scheint.

Die Pflanze braucht das Licht nicht nur zur Entwicklung — die Samenkeimung macht eine Ausnahme, indem sie fast ausschließlich im Dunkeln besser als im Licht vor sich geht —; das Licht ist auch nötig und unentbehrlich für ihren Stoffwechsel. Im Gegensatz zum Tier ist die Pflanze bekanntlich imstande, ihre Gewebssubstanzen und ihre Reservedepots, also hochmolekulare Körper, aus den gewöhnlichen Mineralstoffen aufzubauen. Sie bedarf des Lichtes für die Synthese ihrer Kohlenhydrate, die sie aus den einfachsten Bausteinen, nämlich Kohlensäure und Wasser, synthetisiert. Als Vermittler dient hierbei der charakteristische Farbstoff der grünen Pflanzen, das Chlorophyll. Schon die Bildung dieses Katalysators geschieht nur im Lichte. Die Einstellung der Chlorophyllkörnchen bewirkt eine möglichst günstige Lichtaufnahme. Absorbiert wird praktisch das ganze Spektrum; sogar ultraviolette Strahlen werden zum Teil ausgenutzt, wobei es dahingestellt sein mag, ob diese Strahlen in der Oberhaut des Blattes vielleicht zunächst transformiert werden, oder ob die das Chlorophyll fast stets begleitenden gelben und roten Farbstoffe bei der Aufnahme eine Rolle spielen. Der chemische synthetisierende Prozeß ist im Gegensatz hierzu wahrscheinlich nur an das Chlorophyll geknüpft. Den chemischen Vorgang, der sich hierbei abspielt, hat Willstätter mit seinen Mitarbeitern der Erkenntnis nahe gebracht [Willstätter und Stoll] (68). Nach der jetzigen Deutung laufen zwei Prozesse parallel, indem zunächst Kohlensäure an das Chlorophyll angelagert wird und darauf in zweiter Reihe sich eine Chlorophyll-Ameisensäureperoxyd-Verbindung bildet; aus dieser wird voraussichtlich der Formaldehyd abgespalten, der sich dann weiter zu höheren Kohlenhydraten polymerisiert. Außerhalb des lebenden Blattes gelang die Photosynthese bisher in keinem Falle.

Sehr wertvolle Ergebnisse verdankt man den Untersuchungen Warburgs (69, 70) über den Mechanismus der Assimilation. Die Versuche wurden an einer kleinen Grünalge ausgeführt. Es wurde festgestellt, daß bei niedriger CO_2-Konzentration die Assimilation dieser nahezu proportional ist, während bei höherer einem bestimmten Zuwachs ein stetig kleiner werdender der Assimilationsgeschwindigkeit entspricht. Ähnliches gilt für die Beleuchtungsstärke: ist sie niedrig, so ist die Assimilationsgeschwindigkeit ihr annähernd proportional, nimmt sie über eine gewisse Grenze hinaus zu, so entspricht einem bestimmten Zuwachs ebenfalls ein stetig kleiner werdender Zuwachs der Assimilationsgeschwindigkeit. Die höchsten erhaltenen Nutzeffektziffern für verschiedene Wellenlängen (wobei Nutzeffekt das Verhältnis der gewonnenen chemischen Arbeit zur absorbierten Strahlenenergie bedeutet) sind nach den Befunden von Müller und Warburg (70a) an dem gleichen Objekt folgende:

Farbe	Rot	Gelbrot	Orange	Gelb	Grün	Blau
Wellenlänge $\mu\mu$	660—710	600—650	570—610	550—590	510—550	445—500
Nutzeffekt $^0/_0$.	14	20	23	21	15	13
φ 10^{15} . . .	0,12	0,17	0,20	0,18	0,13	—

φ bedeutet die Zahl der durch eine Gramm-Kalorie zersetzten Mole CO_2. Die Intensität der Strahlung pro qcm der Algensuspensionsfläche betrug bei diesen Versuchen in allen Farben etwa 2.10^{-4} cal/sec.

Auch durch diese Untersuchungen sind wir dem Rätsel der Assimilation zwar beträchtlich nähergerückt, ohne es jedoch vollständig zu begreifen.

Eine alte Erfahrung schien dafür zu sprechen, daß das Licht desinfizierend wirkt, daß also kleine Lebewesen durch Licht in genügender Intensität abgetötet werden. Eine große Reihe von Experimenten, beginnend mit denen von Downes und Blunt (71), haben in der Tat erweisen können, daß viele Mikroorganismen gegen Licht empfindlich sind; weitere Forschungen zeigten, daß diese schädigende Wirkung vor allem dem kurzwelligen Teil des Spektrums zuzuschreiben ist. Die eingehendste Prüfung dieser Frage verdanken wir den Untersuchungen Finsens und seiner Mitarbeiter. Die stärkere Wirkung der kurzwelligen Strahlung wurde auch von ihnen bestätigt, jedoch mit der Einschränkung, daß die verschiedenen kurzwelligen Bezirke verschieden stark wirken können, ohne daß diese Wirkung der abnehmenden Wellenlänge proportional zu sein braucht. Weitere Untersuchungen zeigten sodann, daß andere Teile des Spektrums in ähnlicher Weise bakterizid zu wirken vermögen, doch fand hier Bie (72, 73) einen wesentlichen Unterschied: während ultraviolette Strahlen Bakterien auch ohne Gegenwart von Sauerstoff abzutöten imstande sind, ist für die entsprechende Wirkung der sichtbaren Strahlung Anwesenheit von Sauerstoff unerläßlich.

Finsens Untersuchungen über die bakterizide Wirkung der Strahlen gingen von dem Gedanken aus, auf diese Weise die in verhältnismäßig außen liegenden Schichten der Haut befindlichen Tuberkelbazillen des Lupus abzutöten. In diesem Sinne war die Hoffnung auf Lupusheilung trügerisch; es genügen schon außerordentlich dünne Schichten, um gerade den kurzwelligen, biologisch aktivsten Strahlen den Eintritt zu verwehren. Dementsprechend gelang es nur, die ganz frei liegenden Bakterien zu vernichten; die klassischen Erfolge, die Finsen erzielte und die der Geschichte der Medizin angehören, beruhen auf sekundären Veränderungen infolge der primären Lichtwirkung. In ähnlicher Weise wie Finsen haben viele andere Forscher geglaubt, die Strahlen zur Desinfektion heranziehen zu können. Bedenken muß man hierbei, daß viele Kleinlebewesen außerordentlich gut gegen äußere Angriffe geschützt sind und dementsprechend auch der Strahlenwirkung Widerstand leisten können. Übrigens erwerben wahrscheinlich manche Bakterien mit der Zeit dem Lichte gegenüber eine gewisse Gewöhnung. Bei der Abtötung der Bakterien, soweit sie im praktischen Sinne in Frage kommt, spielen zweifellos gewisse Nebenumstände eine erhebliche Rolle. Solche Mikroben, die unter ungünstigen Lebensbedingungen aufgewachsen sind bzw. gehalten werden, sind naturgemäß erheblich weniger resistent als Kleinlebewesen unter guten Ernährungsverhältnissen. Aus diesem Grunde ist es auch nicht ganz leicht, Laboratoriumsexperimente, bei welchen die Bakterien sich in vorteilhaftem Zustande befinden, zu vergleichen mit solchen Bedingungen, wie sie im allgemeinen in der Natur gegeben sind, und so dürften sich die natürlichen Desinfektionseffekte des Lichtes wohl doch erheblich wirksamer gestalten, als man es nach den Reagenzglasversuchen im allgemeinen annehmen könnte. Übrigens bestehen auch bei nicht besonders geschützten Bakterien deutliche Unterschiede in ihrer Empfindlichkeit gegen Licht. Was speziell die keimtötende Kraft des Lichtes gegenüber den

Tuberkelbazillen betrifft, so dürfte sie unter natürlichen Umständen öfter gegeben sein; berücksichtigen muß man nur, daß beispielsweise bei der Desinfektion von Straßenstaub usw. stets nur die in der oberen Schicht vorhandenen Erreger dem Einflusse der Strahlung erliegen können.

Wie oben schon erwähnt wurde, ist durch fluoreszierende Substanzen die Wirkung des Lichtes auf Kleinlebewesen um ein Vielfaches verstärkbar. Es lag nahe, diese Tatsache für die Therapie bakterieller Krankheiten auszunutzen; die Versuche blieben bisher ohne greifbaren Erfolg. Zum Teil liegt das zweifellos daran, daß im Organismus die Bedingungen ganz andere sind als im Reagenzglase. In erster Linie wirkt das Eiweiß außerordentlich störend, da die Fluoreszenz hierdurch herabgemindert oder vollkommen unterdrückt wird. Man wird daher vorläufig nicht sagen können, daß z. B. die Wirkung des Chinins bei der Malaria mit Lichtwirkung und Fluoreszenz etwas zu tun hat.

Von besonderem Interesse ist die Rolle des Lichtes bei der Selbstreinigung der Gewässer. Die an der Oberfläche befindlichen Bakterien werden durch die Lichtstrahlen sicher geschädigt, wenn nicht abgetötet; die Eindringungsfähigkeit des Lichtes in Wasser ist zudem eine ziemlich beträchtliche, so daß auch in den höheren Wasserschichten schwebende Bakterien noch einer direkten Einwirkung ausgesetzt sind. Nach Versuchen von H. Buchner im Starnberger See reicht diese Zone bis zu 1,6 bzw. 2 m unterhalb des Wasserspiegels. Wichtig dürfte auch die indirekte Lichtwirkung sein. Durch die Strahlen wird die Assimilation der Wasserpflanzen gefördert; der hierbei entstehende Sauerstoff wirkt desinfizierend. Auch schädigende Bestandteile werden durch den Pflanzenwuchs dem Wasser entzogen.

Die Einflüsse, welche Strahlung in höheren Dosen auf den Tierkörper ausübt, beschränken sich nicht auf Stoffwechseländerungen im engeren Sinne. Fast alle Organe können affiziert werden; insbesondere treten an den verschiedensten Stellen starke Blutungen auf, denen zunächst Hyperämie und Vergrößerung der Organvolumina vorangehen. Es handelt sich also um starke Schädigungen, deren Charakter physiologisch noch nicht voll geklärt ist. Interessanter scheinen Wirkungen auf das System der Nerven bzw. auf die letzten Endigungen derselben, besonders des Sympathikus. Adler (74) konnte bei reiner Lichtwirkung keine Beeinflussung der Bewegungen und des Tonus der glatten Muskulatur beim Frosch und beim Warmblüter erweisen; doch trat eine sehr deutliche Erregungswirkung ein, wenn die betreffenden Organe, z. B. Froschblase, Froschmagen, Kaninchendarm, Meerschweinchenuterus zunächst mit Eosin sensibilisiert worden waren. Analoges hatten Amsler und Pick (75) festgestellt, indem sie am isolierten Froschherzen, das mit Eosin oder Hämatoporphyrin sensibilisiert war, funktionelle Störungen erzeugen konnten. Für die Art der Störung ist die Intensität der Lichtquelle von Bedeutung: schwächeres Licht übt eine mehr diastolische, stärkeres eine systolische Wirkung aus. Es scheint, daß dieser Mechanismus ein komplexer ist, indem sowohl Reizleitung als Ventrikelautomatie sowie Erregbarkeit und Kontraktilität der Muskulatur beeinflußt werden. Einige klinische, nicht veröffentlichte Versuche von Pincussen zeigten in ähnlichem Sinne eine ungünstige Beeinflussung der Erregung und Reizleitung bei mit Eosin sensibilisierten und bestrahlten Herzkranken. Es steht dahin, wie die besonders von Bach (76) bei Quarzlampenbestrahlung erzielte Senkung des Blutdruckes zu deuten ist. Eine Steigerung der Erregbarkeit des Atemzentrums, welche die Belichtung lange überdauert, wurde von Hasselbalch und Lindhard (77) gefunden.

Besonderes Interesse kommt den Wirkungen des Lichtes zu, die unter dem Namen Phototropismus zusammengefaßt werden können. Es handelt sich bei den einzelnen, bei Pflanzen und Tieren im wesentlichen gleichartigen Reaktionen

um eine Art von Anziehungskraft des Lichtes, um ein Hindrängen bestimmter Teile des betreffenden Organismus zur Lichtquelle. Man hat geglaubt, in der unbelebten Welt gewisse Analogien festgestellt zu haben; so hat man z. B. in einer einseitig belichteten Lösung eine stärkere Krystallisation an der dem Licht zugewendeten Seite angenommen [z. B. Raikow] (78), doch scheint es, daß hier vielfach Wärmestrahlen, welche nicht ausgeschaltet waren, durch Verdunstung eine Lichtwirkung vortäuschten. In diesem Sinne haben dann auch Trautz und Anschütz (79) einen sicher auf Licht zu beziehenden Einfluß bei der Krystallisation abgelehnt. Auch neuere Versuche von Schaum (80, 81), der für diese Erscheinung den Namen Photodromie eingeführt hat, ergaben für die hier in Betracht kommenden Fähigkeiten des Lichtes nichts ganz Sicheres; er nimmt aber doch eine entsprechende Lichtwirkung an. Nach Untersuchungen von Quincke (82) findet sich ein gewisser positiver Phototropismus bei den sog. künstlichen Vegetationen, wobei möglicherweise aber auch Wärmeeffekte in Frage kommen.

Der an lebenden Wesen beobachtete Phototropismus ist, wie schon oben erwähnt wurde, wahrscheinlich nicht nur etwas Tieren und Pflanzen Gemeinsames, sondern auch seine Grundlagen und der ganze chemische Vorgang sind im Prinzip identisch, wie J. Loeb (83) schon seit langem erkannt hat. Gewisse Unterschiede machen sich naturgemäß geltend; vor allem ist das Bild ein ganz anderes, wenn es sich um kleinste Mikroorganismen, um etwas höher stehende Individuen, um Pflanzen, oder wenn es sich um hoch organisierte Tiere handelt. Der primäre Effekt ist wohl in allen Fällen der gleiche: es handelt sich sehr wahrscheinlich um eine durch das Licht geschaffene physikalisch-chemische oder rein chemische Änderung, durch deren Produkte eben der betreffende Vorgang, die Hinneigung zum Lichte, ausgelöst wird. Je nach der Struktur des betreffenden Lebewesens wird der biologische Vorgang direkt an diese, sagen wir, lichtchemische Veränderung geknüpft sein; bei höher entwickelten Geschöpfen wird vielleicht erst eine Reihe von Zwischenstufen durchlaufen. Dazu kommt noch, daß in den meisten Fällen gewisse Vorbedingungen vorhanden sein müssen, um das Entstehen eines phototropischen Reizes zu gestatten. D. h., solche lichtchemischen Veränderungen sind nur dann möglich, wenn ein bestimmtes Substrat, das durch Licht in passender Weise verändert werden kann, vorhanden ist oder wenn die Umsetzung bzw. andere physikalisch-chemische Verhältnisse den geeigneten Boden für die erforderliche Veränderung — im weitesten Sinne — vorbereiten.

Am ausführlichsten untersucht ist der richtungsgebende Einfluß bei den Pflanzen. Die grünen Gewächse, für die der Lichtgenuß zum Leben unentbehrlich ist, streben stets zum Lichte; sie beginnen damit, sobald der Sprößling des im Boden gekeimten Samens die Erdhülle durchbricht. Die Blätter stellen sich so zum Licht, daß ihnen die bestmöglichste Ausnutzung der Strahlung möglich ist; sinnreiche Mechanismen an den Stielen sorgen für diese Orientierung. Nun ist der Lichtgenuß aber nicht auf die Blätter beschränkt, sondern auch die stengligen Organe sind für Licht empfänglich, besonders in der Jugend, wo sich noch keine feste Zellulosehülle ausgebildet hat. Ausführliche Untersuchungen hierüber sind an Keimlingen, besonders des Hafers, vorgenommen worden, und man hat durch Bestrahlung Krümmungen der normalerweise nach oben wachsenden Stengel erzielen können, die bis 90° erreichten. Um eine solche phototropische Ablenkung herbeizuführen, ist eine minimale Reizmenge erforderlich; das Maßgebende ist das Produkt aus „Präsentationszeit“ (Reizungsdauer) und der Reizintensität (Belichtungsstärke). Dementsprechend genügen bei langdauernder Einwirkung schon sehr geringe Lichtmengen [Blaauw] (84), unter Umständen noch 0,000008 Meterkerzen, zu einer schwachen Reaktion [v. Guttenberg] (85).

Wie auch bei Besprechung der analogen Erscheinungen bei Tieren noch gezeigt werden wird, gibt es auch bei Pflanzen positive und negative Lichtreaktionen: Pflanzen können sich dem Licht zuneigen, sich von ihm fortwenden (negativer Phototropismus), sie können auch von Licht unbeeinflußt bleiben. Positiver Phototropismus kann bei Anwendung höchster Lichtintensitäten in negativen umschlagen [Literatur bei E. G. Pringsheim] (86). Noch ein weiterer Umstand spielt eine Rolle, nämlich die sog. „Stimmung". Es kommt darauf an, ob die Pflanze vorher im Dunkeln gehalten oder ob sie vorher stärkeren Lichtintensitäten ausgesetzt worden war u. dgl. Nach dem oben Gesagten heißt dieses, daß das Substrat für die Lichtwirkung passend vorbereitet sein muß. Wird eine Pflanze zwischen zwei Lichtquellen gesetzt, so scheint die Differenz der Intensitäten für die Reaktion maßgeblich zu sein, wobei erforderlich ist, daß das Übergewicht der einen Lichtquelle einen bestimmten Betrag erreicht.

Ähnlich wie für die Assimilation ist auch für den Phototropismus ausgiebig erörtert worden, welche Strahlenarten zur Auslösung der Lichtneigung befähigt sind. Aus Untersuchungen von Blaauw (l. c.) scheint mit Sicherheit hervorzugehen, daß alle sichtbaren Lichtstrahlen phototropische Reaktionen herbeiführen können, jedoch in ungleichem Grade. Das Maximum liegt für verschiedene Objekte bei den Wellenlängen 430—500, also im Hell- und Dunkelblau, und nimmt dann vor allem nach der langwelligeren Seite sehr erheblich ab. In der Form entspricht die Empfindlichkeitskurve der des menschlichen Auges, die nur etwas nach dem langwelligen Teil des Spektrums hin verschoben ist. Wir finden also ähnliche Verhältnisse wie bei der Assimilation. Die Frage ist von botanischer Seite sehr ausführlich diskutiert worden. Wichtig scheint noch zu sein, daß es sich bei den Pflanzenkrümmungen mindestens zum Teil nicht um direkte Wirkungen handelt, sondern daß der Reiz des Lichtes von einzelnen Teilen perzipiert und zu anderen weitergeleitet werden kann. Bei Haferkeimlingen wirkt der Reiz im wesentlichen auf die Spitze [Rothert] (87); bei Entfernung oder Verdunklung dieser bleibt die phototropische Krümmung aus oder ist zum mindesten stark abgeschwächt. Von der Spitze aus kann der Reiz durch das ganze Organ geleitet werden, wenn eine Kontinuität vorhanden ist; es schadet nicht, wenn ein Schnitt durch den größeren Teil des Stengels gelegt ist; auch wenn der ganze Stengel abgetrennt ist, kann durch eine Gelatineschicht die Verbindung wieder hergestellt werden. Wird die Trennung aber durch Zwischenschaltung eines Glimmerplättchens vollständig, so nimmt die unterhalb dieses gelegene Strecke nicht an der phototropischen Reaktion teil. Man dürfte wohl annehmen, daß gewisse Veränderungen im Stoffwechsel der Pflanze — im weitesten Sinne — es sind, durch welche die geschilderten Erscheinungen hervorgerufen werden. Daß es sich nicht um einen primären Lichteffekt, sondern wahrscheinlich um eine damit gekoppelte chemische Reaktion handelt, scheint aus Angaben von de Vries (88) hervorzugehen, der den Temperaturkoeffizienten für die phototropische Perzeption zu 2,6 fand. Freilich ist diese Angabe nicht unwidersprochen geblieben, da im Gegensatze hierzu Nybergh (89) fast vollständige Unabhängigkeit des Perzeptionsvorganges von Temperatureinflüssen behauptete.

Einen dem pflanzlichen Phototropismus vergleichbaren Vorgang, durch den freibewegliche pflanzliche Organismen sowie andere Kleinlebewesen in ihrer Richtung durch das Licht beeinflußt werden, hat man Phototaxis genannt. Auch hier die analoge Erscheinung wie beim pflanzlichen Phototropismus: die Abhängigkeit von gewissen Vorbedingungen in dem betreffenden Organismus selbst, sowie vor allem von Intensität und Art der Lichtquelle. Die Erscheinung findet sich ziemlich weit verbreitet; z. B. bei den freibeweglichen Sporen der Algen, bei den einzeln lebenden

oder Kolonien bildenden Volvocaceen und manchen Euglenenarten. Die Beeinflussung ist an mancherlei Zustände gebunden; so finden wir auch hier eine „Stimmung" wie bei höheren Pflanzen, eine ungleiche Reaktion auf Lichtreize, je nachdem die Objekte im Dunkeln gehalten oder starkem Licht ausgesetzt waren. Wie J. Loeb (90) gezeigt hat, ist auch das Medium, in dem die Tiere schwimmen, von Wichtigkeit, indem Zusatz ganz geringer Säuremengen die phototaktische Reaktion außerordentlich steigert. Auch eine verschiedene Lichtfarbe scheint von Einfluß sein zu können. Wie der Mechanismus dieser Lichtbewegungen zustande kommt, ist ungeklärt. Bei feiner differenzierten Individuen ist der Vorgang sicher ein komplexer. Auch der Sauerstoff spielt vielfach eine Rolle.

Bei Tieren dürfte der Mechanismus noch verwickelter sein; immerhin sind die Grundbedingungen stets dieselben, und wahrscheinlich handelt es sich hier um gewisse, durch das Licht ausgelöste Stoffwechseländerungen im weitesten Sinne, die aber stets passende Grundstoffe voraussetzen, an denen eben diese Umänderung sich vollziehen kann. Solche Vorbedingungen sind besonders in frühen Entwicklungsstadien gegeben; dementsprechend finden wir phototropische Reaktionen bei sich entwickelnden Teilen. Hierzu gehört das Verhalten der neu entstehenden Stengel des von J. Loeb studierten Hydroidpolypen Eudendrium, die sich namentlich bei Belichtung mit kurzwelligen Strahlen zur Lichtquelle hinkrümmen. Hier findet sich gewissermaßen eine Verbindung mit dem Wachstumsvorgang, der eben durch das Licht in charakteristischer Weise geregelt wird. Die Notwendigkeit gewisser Vorbedingungen zeigt sich bei Versuchen mit den Raupen der Goldafter (Porthesia chrysorrhoea), wie von J. Loeb (91) und W. Ostwald (91a) beobachtet worden ist. Nimmt man die frisch ausgeschlüpften Räupchen aus ihrem dunkeln Nest heraus und bringt sie in Gläser, die man einseitig belichtet, so kriechen die Räupchen dem Lichte zu; dreht man das Glas um, so kriechen sie nach der anderen Seite, wieder dem Lichte zu. Wirksam sind hier nur die kurzwelligen Strahlen; langwellige, auch höherer Intensität, haben nicht den gleichen Effekt. Die Bewegungen der ausgeschlüpften, hungrigen Räupchen zum Lichte entsprechen dem physiologischen Vorgange, nach dem die Tierchen in der Freiheit ebenfalls nach oben hin, zum Lichte, streben. Der Phototropismus hört teilweise oder vollständig auf, wenn die Tierchen gefüttert sind.

Im allgemeinen geht der phototropische Reiz nur von den kurzwelligeren Strahlen des sichtbaren Spektrums aus, doch kann nach Henri (92) auch ultraviolettes Licht die Tiere anziehen. Festzustellen, welche Organe bzw. welche Teile für die Reaktion maßgeblich sind, ist außerordentlich schwierig; in einzelnen Fällen sind es die Augen, in anderen die Füße, in anderen wieder die ganze Körperoberfläche. Gleichgültig, wie die Perzeption erfolgt, der ganze Prozeß bis zu seiner vollen Auswirkung dürfte bei höher organisierten Tieren sicher eine Reihe von Stadien durchlaufen, bei Tieren mit einem Nervensystem endlich über dieses geleitet werden.

Daß Stoffwechselzustände — im Laufe der Reaktionsreihe — außerordentlich wichtig sind, zeigte schon das Beispiel der Porthesia-Räupchen. Die Art der Nahrung ist ebenfalls von Einfluß. Nach J. Loeb (93) ist bei pflanzenfressenden Tieren die phototropische Tendenz größer als bei fleischfressenden. Eine sehr beträchtliche Erhöhung der heliotropischen Reizbarkeit geht besonders mit sexualen Verhältnissen einher, die letzten Endes ebenfalls von Stoffwechseländerungen begleitet sind. So scheint der Hochzeitsflug der Ameisen durch einen Heliotropismus bedingt zu sein, während zu anderer Zeit die geflügelten Ameisen nur sehr wenig heliotropisch sind. Sofort nach der Begattung fehlt der Heliotropismus ganz oder fast vollständig. Ähnlich liegen die Dinge nach Untersuchungen von Kellog (94) bei Bienen.

Auch sonst verändert sich die heliotropische Reaktion in verschiedenen Entwicklungsstadien. Ein positiver Heliotropismus macht unter Umständen nicht nur der Indifferenz, sondern sogar einem negativen Phototropismus, der Abkehr vom Lichte, Platz.

Solche Verhältnisse kann man z. B. bei Fliegenlarven beobachten, die vor der Verpuppung deutlich negativ heliotropisch, dagegen im Imagostadium entweder neutral oder schwach positiv reagieren. Von Einfluß ist ferner die Temperatur; es gibt Optima und andererseits Grenzen, außerhalb deren keine Reaktion mehr stattfindet bzw. in das Gegenteil umschlägt.

Außerordentlich wichtig ist die Beeinflussung der Lichtreaktion durch die Beschaffenheit des Mediums, die naturgemäß bei den im Wasser lebenden Tieren bisher eingehender studiert worden ist. Süßwasserkrebse, die gewöhnlich negativ heliotropisch sind, gehen sofort zum Licht, wenn die Flüssigkeit nur ganz geringe Spuren von Säuren enthält (Loeb) (95, 96). Ähnlich wirken auch Alkohole, während Salze meistens einflußlos sind und nur wenige, wie die Ammoniumverbindungen, zu positiven Reaktionen führen können. Auch manche Alkaloide scheinen befähigt zu sein, eine Umstimmung hervorzurufen.

Negativer Phototropismus findet sich verhältnismäßig selten in der Natur. Sehr interessant ist in dieser Beziehung das Verhalten der Nachtschmetterlinge, deren Phototropismus am Tage vollständig ausgeschaltet erscheint, während sie in der Nacht bekanntlich zum Lichte hinfliegen. Zweifellos kommen hier „Stimmungen" in Betracht, indem das im Dunkeln gehaltene Tier vom Lichte angezogen wird. J. Loeb konnte den positiven Phototropismus dieser Falter auch am Tage durch Verdunklung demonstrieren, so daß die Falter zu schwärmen anfingen. Seltsamerweise gelang dieser Versuch niemals in den Vormittagsstunden, und es dürfte wohl anzunehmen sein, daß der für die Auslösung der Reaktion notwendige Stoffwechselzustand in dieser Zeit noch nicht erreicht war.

Im ganzen wird man bei den heliotropischen Erscheinungen, sei es bei Pflanzen oder Tieren, eine Reihe auf einander folgender Prozesse anzunehmen haben; erstens Absorption des Lichtes, daran gegliedert vielleicht physikalisch-chemische Vorgänge, zweitens chemische Veränderung eines Stoffwechselproduktes, das aber nur unter bestimmten Verhältnissen reaktionsbereit ist, und drittens die Auslösung einer Reizreaktion durch den neu entstandenen Stoff (Sensitivierung).

Die Hauptwirkungen des Lichtes sind für Tier und Pflanze zweifellos günstige. Die Strahlung ist imstande, Reaktionen auszulösen bzw. herbeizuführen, die sich als zweckdienlich, teils sogar als unentbehrlich für das Individuum erweisen. Bei den Pflanzen ist das Licht mit wenigen Ausnahmen ein unersetzlicher Faktor für den Ablauf ihres Stoffwechsels, zum Aufbau der Körpersubstanz und der Reservematerialien.

Noch nicht gesprochen wurde von den psychischen Einflüssen, welche dem Lichte zukommen. Das Licht steigert zweifellos das Lustgefühl; die Lebensfreude, der Drang zur Arbeit ist an hellen Tagen ein ungleich größerer, als in trüben oder dunkeln Perioden. Wie schon oben erwähnt wurde, ist der Bewegungsreiz im Lichte außerordentlich gesteigert, während Dunkelheit die Neigung zur Ruhe, schließlich den Schlaf begünstigt. Es dürfte wohl einem Zweifel nicht unterliegen, daß diese Effekte, die wir vorläufig dem naturwissenschaftlich schwer faßbaren Begriffe der Psyche unterordnen, letzten Endes ebenfalls auf physikalische und chemische Wirkungen der Strahlung zurückzuführen sind, deren Erforschung und deren Verbindung mit den erzielten Effekten noch im weiten Felde liegt (vgl. hierzu auch J. Loeb) (97).

Außer günstigen photobiologischen Wirkungen kann das Licht aber schwere Schädigungen bewirken. Wir haben das schon gesehen bei Besprechung der desinfizierenden Kraft des Lichtes, also bei der Abtötung bzw. Schädigung von Kleinlebewesen durch die Strahlung. Bei Pflanzen und höheren Tieren ist grundsätzlich diese Möglichkeit in gleichem Maße gegeben. Im allgemeinen beobachten wir sie bei normaler Belichtung jedoch nicht, während durch die intensivere Röntgenstrahlung bekanntermaßen häufig sehr schwere Nachteile erzeugt werden können. Der Grund für das seltene Auftreten der Schädigungen ist in den schon oben besprochenen Regulierungsmechanismen gegeben, welche dem gewöhnlichen Lichte den Zutritt zum Organismus bzw. dessen lebenswichtigen Teilen nur in solchem Ausmaße gestatten, daß die wohltätigen, nicht aber die nachteiligen Wirkungen der Strahlung Einfluß gewinnen können. Die Pflanze schützt sich durch passende Verstellung ihrer Blätter sowie durch mancherlei andere Regulationsvorrichtungen, die Lagerung ihrer Chlorophyllkörner, die Einschaltung reflektierender Vorhänge. Der tierische Organismus besitzt im Pigment eine Schutzvorrichtung [vgl. hierzu W. Hausmann (98)]. Dementsprechend wird die eventuelle Schädigung durch Licht im tierischen Organismus von zwei Umständen abhängig sein: einmal von der Art bzw. Intensität der Strahlung, das andere Mal von der Fähigkeit, sich durch vermehrte Pigmentbildung zu verteidigen. Die Fähigkeit zur Pigmenterzeugung ist den meisten Menschen zweifellos gegeben; sie fehlt jedoch sicherlich bei einer Anzahl von Individuen. Der Grund hierfür kann theoretisch entweder der sein, daß ein Ferment bzw. ein Katalysator, der die Pigmentbildung auslöst, nicht vorhanden ist, oder daß die Bausteine, die zur Bildung des Pigmentes erforderlich sind, vor allem Substanzen der aromatischen Reihe, nicht in ausreichendem Maße zur Verfügung stehen. Einen direkten Beweis hierfür hat St. Rothmann (99) angegeben, indem er während der Pigmentbildung durch Belichtung eine Verminderung des Tyrosins im Blute nachwies. Bleibt die Pigmentbildung aus oder kann sie nicht schnell genug der einwirkenden Strahlung entsprechend einsetzen, so kann es zu Schädigungen kommen, die sogar das Leben zu gefährden vermögen. Ganz besonders schwerwiegend ist dieses Fehlen einer Schutzvorrichtung, wenn das ungehindert in übermäßiger Menge eindringende Licht im Organismus selbst Katalysatoren vorfindet, welche die Strahlenwirkung erheblich verstärken. Solche Lichtüberträger sind teils Substanzen, wie das Hämatoporphyrin, die sich im Tierkörper aus dem Blutfarbstoff bilden, teils sensibilisierende Körper besonderer Art, mögen es Bestandteile der Nahrung oder direkt fluoreszierende Farbstoffe sein. Besonders Hausmann (100, 101) verdanken wir nach dieser Richtung wertvolle Untersuchungen. Bei weißen Mäusen, die ein Pigment weder besitzen noch augenscheinlich auf Lichtreiz bilden können — wie allen Albinos unter den Tieren sowie unter den Menschen fehlen ihnen vielleicht die passenden Vorrichtungen —, erzeugt intensive Belichtung mit Sonnenlicht oder entsprechenden künstlichen Lichtquellen, nachdem die Individuen vorher mit Hämatoporphyrin oder einem fluoreszierenden Anilinfarbstoff vorbehandelt waren, ein schweres Krankheitsbild, das sehr bald zu Entzündungen und Nekrosen einzelner Teile, namentlich der Ohren, führt und bei länger fortgesetzter Belichtung den Tod der Tiere veranlaßt. Dieses Experiment ist ein Prototyp für eine Reihe pathologischer Geschehnisse. Auch die hier sich einstellenden Erscheinungen sind charakteristisch: der Juckreiz, der ganz erhebliche Dimensionen annimmt, auftretendes Ödem u. dgl. Alle diese Zustände hören auf, wenn man die Tiere vom Licht ins Dunkle bringt; es handelt sich also um eine ganz charakteristische Lichtwirkung.

Wird im Organismus sensibilisierendes Hämatoporphyrin in beträchtlicherem Ausmaße erzeugt, so können ganz ähnliche Schädigungen auftreten. Perutz hat z. B. zeigen können, daß mit Sulfonal vergiftete Kaninchen infolge der Hämatoporphyrinbildung auf Licht erheblich stärker reagieren als andere Kaninchen, und Königstein und Heß haben bei einer Lebererkrankung mit Hämatoporphyrinurie Nekrosen an verschiedenen Körperstellen gefunden. Zwischen normalem Verhalten und Lichtschädigungen gibt es natürlich fließende Übergänge. So kann schon bei sonst normalen Personen auf starke Bestrahlung, wenn die im übrigen mögliche Pigmentbildung mit der Strahlung nicht Schritt hält, eine Reihe von Unbequemlichkeiten, wie leichter Juckreiz und Entzündungserscheinungen, auftreten, besonders intensiv, wenn die ultraviolette Strahlung stark ist, so in den Regionen der Hochalpen, wo die Intensität des Lichtes durch den Reflex an Eis und Schnee potenziert ist. (Siehe hierzu C. Dorno.) Hier hilft nur Abhaltung der wirksamen Strahlung. Schon dünne Fettschichten können einen gewissen Schutz gewähren, der durch Gelb- oder Rotfärbung weiter gesteigert wird. Ein Übergang von diesen immerhin noch als normal aufzufassenden Verhältnissen zum Pathologischen zeigt ein von Veiel beobachteter Fall. Eine Dame erkrankte nach einem Ausgang in der Sonne an Gesichtsausschlag und Gesichtsödem, besonders der Augenlider, Erscheinungen, die nach der Heimkehr in das Zimmer vollständig zurückgingen. Jede neue Besonnung brachte die gleichen Zustände, die sich im Laufe des Sommers zwar etwas abschwächten, im nächsten Frühjahr mit der ursprünglichen Heftigkeit wieder einsetzten. Es konnte schließlich diese Lichtidiosynkrasie nur dadurch unschädlich gemacht werden, daß die betreffende Person bei jedem Ausgang durch Tragen eines roten Schleiers den Zutritt der kurzwelligen Strahlen verhinderte. Die Hydroa aestivalis ist mit ähnlichen Erscheinungen verbunden. Einzelne linsen- bis erbsengroße Inseln der belichteten Hautpartien erkranken unter Bläschenbildung, der eine Nekrose dieser Stellen in ähnlicher Weise wie bei den Blattern folgt. Die Empfindlichkeit der Kinder, die fast ausschließlich befallen werden, steigt häufig mit der Zeit, bisweilen kann sich auch eine gewisse Widerstandsfähigkeit einstellen. In den meisten Fällen ist ein Aufhören der im übrigen harmlosen Krankheit nur durch Abhaltung der stark brechbaren Strahlen durch einen Schleier od. dgl. zu erzielen.

Eine erheblich schlimmere Lichtaffektion stellt das Xeroderma pigmentosum dar, eine angeborene, meist familiäre Hautdisposition, die sich in der Regel in den frühesten Kinderjahren in Form eines einfachen Sonnenbrandes äußert, sich dann aber ohne Unterbrechung unaufhörlich verschlimmert. Die Entzündungsvorgänge werden bei jeder Lichteinwirkung intensiver, die Haut verdickt sich unter Bildung von Pigmentflecken; unter Pigmentschwund treten dann verdünnte Stellen auf, es kommt zu warzenartigen Wucherungen, aus denen sich maligne Geschwülste entwickeln, denen die Kinder spätestens im zweiten Lebensjahre erliegen. Wir haben hier ein Beispiel einer gewissermaßen zweiphasischen Lichtreaktion, in deren erster Phase ein Katalysator gebildet ist, der die folgende Reaktion dauernd beherrscht, während wir bei den erstgenannten Beispielen Reaktionen sahen, die in der Hauptsache zu laufen aufhören, sobald das auflösende Moment, das Licht, nicht mehr einwirkt.

Wir haben es bei den zuletzt geschilderten Erkrankungen mit Sensibilisierungen bzw. Katalysierung durch solche Stoffe zu tun, die aus Bausteinen des Organismus selbst hervorgehen. Manche Erkrankungen dagegen werden ähnlich wie in den experimentellen Versuchen dadurch erzeugt, daß von außen her in den Körper gelangende Substanzen die Rolle der Katalysatoren spielen. So ist es augenscheinlich

bei der Buchweizenkrankheit, dem Fagopyrismus, dessen Entdeckung auf die Beobachtung eines Landwirtes zurückgeht. Dieser fand, daß mit Buchweizen ernährte scheckige Kühe an den hellen Stellen im Lichte Ausschlag bekamen, während die dunklen Stellen unverändert blieben. Er dachte an eine Lichtwirkung und stellte die Richtigkeit seiner Hypothese dadurch fest, daß er weiße Kühe zum Teil mit Teer bestrich und dann nur an den hell gebliebenen Stellen die Erkrankung konstatierte. Auch ein Teil des Symptomenkomplexes der Pellagra erweckt den Anschein einer Lichtwirkung. Dafür sprechen besonders das gehäufte Auftreten in den hellen Monaten sowie experimentelle Versuche an weißen Mäusen, bei denen nach Fütterung mit Mais sich im Lichte ähnliche Symptome einstellen, wie sie beim Menschen bei der Pellagra und nach künstlicher Vorbehandlung mit Sensibilisatoren beobachtet worden sind. Versuche, das wirksame Prinzip zu isolieren, ergaben nach Horbaczewski (102) die Anwesenheit eines alkohollöslichen, gelblichen Farbstoffes.

Die zuletzt geschilderten Störungen sind wahrscheinlich nur ins Pathologische gesteigerte Fälle eines im übrigen normalen und vielleicht sogar nützlichen Prozesses. Nicht allein Mais und Buchweizen enthalten Sensibilisatoren dieser Art; sie finden sich in vielen Pflanzen, sei es als Chlorophyll, sei es in anderer Form. Bei der Bedeutung, die nach den Forschungen des letzten Jahrzehnts den frischen Vegetabilien für die Ernährung zukommt, erscheint es nicht ausgeschlossen, daß solche Farbstoffe bzw. Katalysatoren für den Organismus unentbehrlich sind und daß vielleicht teilweise ihre Wirkung in einer Katalysierung der Lichtenergie gelegen ist.

Literatur.

1. Ley, H., Die Beziehungen zwischen Farbe und Konstitution bei organischen Verbindungen. Leipzig, 1911.
2. Witt, O. N., Bericht dtsch. chem. Ges., Bd. 9, 522. 1876.
3. Küne und Hortatler, Allg. phot. Ztg. 1901, S. 462.
4. Drosbach, G. P., D. m. W. 1901, S. 827.
5. Bloch, Ztschr. f. physiol. Chem. Bd. 98, S. 226. 1917.
6. Meirowsky, Über den Ursprung des melanotischen Pigments der Haut und des Auges. Leipzig, 1908.
7. Ries, Chr., Das Licht. Leipzig, 1909.
8. Stark und Steubing, Physikal. Ztschr., Bd. 9, S. 481. 1908.
9. Goldmann, A., Lichtelektrische Untersuchungen an Farbstoffzellen. Phil. Diss. Leipzig, 1908.
10. Rigollet, H., C. R., Bd. 116. 1893.
11. Amann, J., Kolloid-Ztschr., Bd. 8, S. 197. 1911.
12. Siedentopf, H., Ber. dtsch. chem. Ges., Bd. 43, S. 692. 1910.
13. Bovie, W. T., Science, 1913.
14. Ostwald, W., Kolloidchem. Beihefte, Bd. 2, S. 409. 1911.
15. Weigert, F., Sammlung chem. u. chemisch-techn. Vorträge, Bd. 17, S. 183. Stuttgart, 1912.
16. Stobbe, Liebigs Ann., Bd. 359, S. 5. 1908.
17. Ciamician und Silber, Ber. dtsch. chem. Ges., Bd. 34, S. 2040. 1901.
18. Baeyer, Ber. dtsch. chem. Ges., Bd. 3, S. 63. 1870.
19. Neuberg, C., Biochem. Ztschr., Bd. 13, S. 305. 1908.
20. Gros, O., Ztschr. f. physik. Chem., Bd. 37, S. 157. 1901.

21. Friedländer, P., Ber. dtsch. chem Ges., Bd. 42, S. 765. 1909.
22. Neuberg und Schwenk, Biochem. Ztschr., Bd. 71, S. 219. 1915.
23. Köttgen und Abelsdorff, Preuß. Akad.-Ber. 1895, S. 921.
24. Bierry und Larguier, C. R. 153, S. 124. 1911.
25. Capronnier, Phot. Mitt., Bd. 19, S. 50.
26. Rapp, Journ. chem. Soc. 1904, S. 69.
27. Pincussohn, D. m. W. 1915, H. 5.
28. Schultze und Winterstein, Ztschr. f. physiol. Chem., Bd. 43, S. 316. 1904.
29. Werner, M. m. W. 1906, S. 11.
30. Ciamician und Silber, Ber. dtsch. chem. Ges., Bd. 36, S. 1575. 1903.
31. Neuberg, C., Biochem. Ztschr., Bd. 27, S. 271. 1910.
32. — — Bd. 29, S. 279. 1910.
33. Massol, L., C. R., Bd. 152, S. 902. 1911.
34. Berthelot und Gaudechon, C. R., Bd. 155, S. 1153, 1506. 1912.
35. Euler und Lindberg, Biochem. Ztschr., Bd. 39, S. 410. 1912.
36. Pincussen, L., Ztschr. f. exp. Med., Bd. 26, S. 127. 1922.
37. Pincussen und Floros, Biochem. Ztschr., Bd. 126, S. 86. 1921.
37a. Noack, K., Ztschr. f. Botanik, Bd. 12, 273. 1920.
38. Ohta, K., Biochem. Ztschr., Bd. 54, S. 439. 1913.
38a. Mond, R., Pflügers Archiv, Bd. 196, S. 540, 1922; Bd. 200, S. 374, 1923.
39. Störmer und Ladewig, Ber. dtsch. chem. Ges., Bd. 47, S. 1803. 1914.
40. Klinger, Liebigs Ann., Bd. 249, S. 137. 1888.
41. v. Tappeiner und Jodlbauer, Die sensibilisierende Wirkung fluoreszierender Substanzen. Leipzig, 1907.
42. Neuberg, C. und A. Galambos, Biochem. Zeitschr., Bd. 61, S. 315. 1914.
42a. Neuberg, C., Biochem. Ztschr., Bd. 17, S. 270. 1909.
43. Fichter, Ztschr. f. Elektrochemie, 1921.
44. Loeb, W., Biochem. Ztschr., Bd. 43, S. 434. 1912.
45. Losanitsch, Ber. dtsch. chem. Ges., Bd. 41, S. 2683. 1908.
46. Oppenheimer, C., Die Fermente und ihre Wirkungen. Leipzig, 1914.
47. Pincussen, L., Biochem. Ztschr., Bd. 134, S. 459. 1923.
48. Jodlbauer, A., Biochem. Ztschr., Bd. 3, S. 482, 489. 1907.
49. Bering, Fr., M. m. W. 1912, S. 2795.
50. v. Tappeiner, Ergeb. d. Phys., Bd. 8. 1909.
51. Pincussen und Anagnostu, Biochem. Ztschr., Bd. 128, S. 268. 1922.
52. Hartoch, Schürmann und Stiner, Ztschr. Immunitätsforsch., Bd. 21, S. 643. 1914.
53. Abelin und Stiner, Ztschr. Immunitätsforsch., Bd. 19, S. 1. 1913.
54. Groppler, J., Über die Beeinflussung der Blutfermente durch Licht. Med.-Diss. Berlin, 1915.
55. Pfeiffer, H., Ztschr. Immunitätsforsch., Bd. 23, S. 473. 1915.
56. Moleschott, W. m. W. 1855, Nr. 43.
57. Fubini und Benedicenti, Moleschotts Untersuchungen, Bd. 14, S. 623. 1892.
58. Bidder und Schmidt, Die Verdauungssäfte. Leipzig, 1852.
59. Alexander und Revecz, Biochem. Ztschr., Bd. 44, S. 95. 1912.
60. Loeb, Jacques, Vorlesungen über die Dynamik der Lebenserscheinungen. Leipzig, 1906.
60a. Durig, Neuberg und Zuntz, Biochem. Ztschr., Bd. 72, S. 253. 1916.
61. Pincussen, Biochem. Ztschr., Bd. 99, S. 276. 1919.
62. — — Bd. 126, S. 82. 1922.
63. Strahlentherapie 3, 644. 1913.
64. Hoogenhuize und Best, Arch. Néerl. phys., Bd. 2, S. 685. 1918.
65. Pfeiffer, H., W. kl. W. 1905, Nr. 13.
65a. Sacharoff und H. Sachs, Münch. Med. Wochenschr. 1905, Nr. 7.
66. Meyer-Betz, Deutsches Arch. f. klin. Med., Bd. 112, S. 476. 1913.
67. Hausmann, W., Biochem. Ztschr., Bd. 67, S. 309. 1914.
67a. Fischer, H., Ztschr. f. phys. Chem. 97, 109. 1916.
68. Willstätter und Stoll, Untersuchungen über die Assimilation der Kohlensäure. Berlin, 1918, bei Jul. Springer.
69. Warburg, O., Biochem. Ztschr., Bd. 100, S. 230. 1919.
70. — — Bd. 103, S. 189. 1920.
70a. Müller, C. u. O. Warburg, zit. nach Ber. ges. Physiol. Bd. 8, S. 402. 1921.

71. Downes und Blunt, Proc. Roy. Soc., Bd. 26, S. 488. 1877.
72. Bie, V. Mitt. Finsens Lichtinst., H. 1, S. 40. 1900.
73. — — H. 9, S. 5. 1905.
74. Adler, L., Arch. exp. Pathol., Bd. 85, S. 152. 1919.
75. Amsler und Pick, Arch. f. exp. Pathol., Bd. 82, S. 86, 1917; W. kl. W. 1917, S. 300.
76. Bach, H., D. m. W. 1911, S. 401.
77. Hasselbalch und Lindhard, Scand. Arch. Physiol., Bd. 25, S. 361. 1911.
78. Raikow, P. N., Chemiker-Ztg., Bd. 26, S. 1030. 1902.
79. Trautz, M., Ztschr. f. physikal. Chemie, Bd. 55, S. 442. 1906.
80. Schaum, K., Ztschr. f. angew. Chemie, Bd. 27, S. 355. 1914.
81. — Ztschr. f. wiss. Photographie, Bd. 12, S. 93. 1913.
82. Quincke, Annal. d. Phys., Bd. 7, S. 706. 1902.
83. Loeb, Jacques, Die Tropismen in „Handb. d. vergl. Physiol.“, Bd. 4. Jena, 1913.
84. Blaauw, A. H., Rec. d. Trav. bot. néerl., Bd. 5, S. 209. 1909.
85. v. Guttenberg, H., Ber. d. bot. Ges., Bd. 37, S. 299. 1919.
86. Pringsheim, E. G., Die Reizbewegungen der Pflanzen. Berlin, 1912.
87. Rothert, W., Cohns Beiträge zur Biologie der Pflanzen, Bd. 7. 1896.
88. De Vries, M. S., Rec. trav. bot. néerl., Bd. 11, S. 195. 1914.
89. Nybergh, T., Ber. d. botan. Ges., Bd. 31, S. 542. 1912.
90. Loeb, Jacques, Pflügers Arch., Bd. 115. 1906.
91. Loeb, Jacques, Jl. of gen. Physiol., Bd. 5, S. 581. 1923.
91a. Ostwald, W., Biochem. Ztschr., Bd. 10, S. 1. 1908.
92. Henri, V., C. R., Bd. 154, S. 1734. 1912.
93. Loeb, Jaques, Biochem. Ztschr., Bd. 23, S. 93. 1909.
94. Kellog, V., Science, 1904.
95. Loeb, Jaqcues, Pflügers Arch., Bd. 63, S. 273. 1896.
96. Loeb, Jacques, Der Heliotrop. d. Tiere u. seine Übereinstimmung mit dem der Pflanzen. Würzburg, 1890.
97. — — Die Bedeutung der Tropismen für die Psychologie. Leipzig, 1909.
98. Hausmann, W., Über einige Beziehungen der natürlichen Pigmente zum Licht. Ergeb. d. Phys., Bd. 16. 1917.
99. Rothmann, St., Ztschr. f. d. ges. experim. Med. Bd. 36, S. 398. 1923.
100. Hausmann, W., Strahlentherapie, Bd. 3, S. 112. 1913.
101. — — W. kl. W. 1910, S. 1.
102. Horbaczewski, Österr. Sanitätswesen, Nr. 31. 1910.
103. Neuberg, C., Ber. d. dtsch. chem. Ges., Bd. 55, S. 3624. 1922.

Die physiologischen Wirkungen des Radiums und der radioaktiven Substanzen.

Von Prof. Dr. W. Caspari (Frankfurt a. M.)

Mit 4 Abbildungen

(Abgeschlossen im Juni 1923.)

Eine wirklich erschöpfende Darstellung dessen, was wir über die Wirkung des Radiums und der radioaktiven Substanzen auf den gesunden Organismus wissen, ist im Rahmen des mir zur Verfügung stehenden Raumes völlig ausgeschlossen. Tausende von Arbeiten liegen auf diesem Gebiete bereits vor, und ihre eingehende Besprechung würde Bände füllen.

Es kann daher an dieser Stelle nur meine Aufgabe sein, die wesentlichen Gesichtspunkte hervorzuheben und sie aus der Literatur nach Möglichkeit zu begründen. In bezug auf die Literatur wird vielfach auf das Handbuch der Radiumbiologie und -therapie von Lazarus (1) und auf die Monographie von Falta (2) hingewiesen werden müssen.

Andererseits wird es sich nicht vermeiden lassen, die strengen Grenzen des Themas nach zwei Seiten hin zuweilen zu überschreiten. Wie bei anderen biologisch wirksamen Substanzen sehen wir auch hier gerade in pathologischen Zuständen die Wirkung oft deutlicher ausgeprägt als in physiologischen, so daß wir rückschließend aus den Wirkungen dieser Substanzen bei verschiedenen Krankheiten Schlüsse ziehen können auf ihr allgemeines biologisches Verhalten. Doch werde ich, wo irgend angängig, mich in dieser Beziehung beschränken.

Auf der anderen Seite werden wir hier und da auch die Erfahrungen, die bei Verwendung von Röntgenstrahlen gesammelt worden sind, uns zunutze machen können für die Erkenntnis der biologischen Wirkungen radioaktiver Substanzen. Wie man auch immer über die Unterschiede in der Wirksamkeit dieser beiden Formen der strahlenden Energie denken mag, die Berührungspunkte sind sehr zahlreich. Die Ergebnisse der Forschungen über die Bedeutung der Röntgenstrahlen werden sich um so vorbehaltloser verwenden lassen, je mehr bei der Feststellung der Einwirkungen stark gefilterte Strahlung verwandt worden ist. Denn daran kann wohl heute nicht mehr gezweifelt werden, daß die γ-Strahlung des Radiums und die penetrierende (harte) Röntgenstrahlung das gleiche Medikament darstellen, nur quantitativ unterschieden, insofern es der Technik bisher nicht gelungen ist, Röntgenstrahlen von so starker Penetrationskraft zu erzeugen, wie sie wenigstens einem Teile der γ-Strahlung zukommt.

Was die Art der Darstellung des Materials anbetrifft, so sind von vornherein zwei Wege beschreitbar. Man kann entweder die Allgemeinwirkung strahlender Energie im Organismus den Betrachtungen zugrunde legen und von dieser Erkenntnis aus die verschiedenen festgestellten Einzelwirkungen der radioaktiven Substanzen auf den Organismus systematisch erläutern; oder aber den umgekehrten Weg einschlagen, der darin besteht, daß man die Einzelwirkungen radioaktiver Substanzen zusammenstellt und hieraus, soweit dies möglich ist, auf die Allgemeinwirkung schließt.

So groß nun auch gerade in letzter Zeit die Fortschritte sind, die hinsichtlich der Erkenntnis des allgemeinen biologischen Vorganges der Strahlenwirkung gemacht worden sind, halte ich es doch zur Zeit noch für sicherer, den zweiten Weg zu gehen, den auch die früheren Autoren stets beschritten haben. Es wird sich also im wesentlichen um eine zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse biologischer Einzelforschungen über die Wirkung der radioaktiven Substanzen auf Lebewesen, Organe und Funktionen handeln. Wie weit wir allgemeinere Folgerungen daraus ziehen dürfen, wird zum Schlusse kurz zu erörtern sein.

Chemische und physikalisch-chemische Wirkungen außerhalb des Körpers.

Sehr mannigfaltig sind die chemischen und physikalisch-chemischen Veränderungen, die das Radium und die radioaktiven Substanzen außerhalb des Körpers hervorrufen. Verfärbung verschiedener Mineralien, von Glas und Porzellan, Zersetzung des Wassers in Wasserstoff und Sauerstoff, Ozonisierung der Luft und damit in Verbindung stehende Oxydationsprozesse. Starke Radiumemanation vermag Ammoniak in Stickstoff und Wasserstoff zu zerlegen und umgekehrt Ammoniak aus seinen Komponenten aufzubauen; ebenso wird Chlorwasserstoff in Chlor und Wasserstoff gespalten, Kohlensäure in Sauerstoff und Kohlenoxyd, weiterhin das letztere in Kohlenstoff und Sauerstoff zerlegt. Auf Einzelheiten kann hier nicht eingegangen werden, denn alle diese Vorgänge sind äußerst geringfügig und spielen, soweit wir es beurteilen können, bei den biologischen Prozessen keine Rolle, worauf insbesondere Neuberg (3) hinweist, auf dessen meisterhafte kritische Darstellung dieses Gebietes verwiesen sein möge.

In bezug auf organische Substanzen sei die Abspaltung von freiem Jod aus Jodoform erwähnt. Von größerer biologischer Bedeutung jedoch ist eine Frage, die sich an die Versuche von Gudzent (4) über die Wirkung von radioaktiver Emanation auf gichtische Prozesse anschloß.

Die zweifellose Wirkung, die Aufenthalt in radioaktiver Luft oder auch Trinken radioaktiven Wassers auf diese Krankheitsprozesse ausübt, führte Gudzent zu der Annahme, die er durch Versuche stützte, daß die Löslichkeitsverhältnisse der harnsauren Salze unter dem Einfluß der Radioaktivität geändert würden.

Gudzent ging von der wohl zutreffenden Ansicht aus, daß sich die Harnsäure im Blute als Mononatriumurat findet. Dieses kommt in zwei isomeren Formen vor, dem Laktamurat, das leichter löslich und unstabil ist, und der weniger löslichen stabileren Form, dem Laktimurat. Bei der Gicht überwiegt die letztere Form, und daher ist das Blut zuweilen mit Harnsäure übersättigt. Radiumemanation soll nun die Laktimform wieder in die Laktamform überführen, so daß das Salz löslicher wird und endlich wieder zu Kohlensäure und Ammoniak abgebaut wird. So wollte Gudzent durch mehrtägiges Durchleiten von Radiumemanation durch eine Suspension von Mononatriumurat eine Zunahme des löslichen Stickstoffs festgestellt haben, die bei gleicher Behandlung ohne Durchleiten von Emanation unterbleibt. Diese Wirkung soll lediglich dem aus der Emanation entstehenden Radium D zukommen, von dem

nur eine weiche β-Strahlung ausgeht; α-strahlendes Polonium hatte diese Wirkung nicht.

Die Versuche und Folgerungen von Gudzent sind viel umstritten worden. Bechhold und Ziegler (5) bestätigten die Ergebnisse von Gudzent insofern, als die Harnsäure im Blute in Mononatriumurat übergeführt wird. Dieses aber wird von Serum schlechter in Lösung gehalten als von Wasser. Radiumemanation verzögerte in ihren Versuchen das Ausfallen des aus Harnsäure gebildeten Monourats aus inaktiviertem Rinderserum. Kerb und Lazarus (6) sowie von Knaffl-Lenz und Wiechowski (7) konnten die Ergebnisse Gudzents nicht bestätigen, wenn sie unter sorgfältigen aseptischen Kautelen arbeiteten, und führen daher die erwähnten Resultate auf Bakterienwirkung zurück.

Neuberg und ich (8) haben einige Bedenken hinsichtlich des Befundes von Gudzent ausgesprochen. Wir kamen zu dieser Anschauung auf Grund unserer Erfahrungen, daß bei sicherer Ausschaltung von Bakterienwirkungen derartige Einwirkungen radioaktiver Salze auf die verschiedensten chemischen Vorgänge nicht zu konstatieren waren. Weder konnte Seidenfibroinpepton gespalten werden, noch wurde Alanin desaminiert oder Stärke verzuckert, ja nicht einmal die Inversion von Rohrzucker konnten wir konstatieren. Diese negativen Resultate wurden gewonnen sowohl bei mehrtägigem Durchleiten von aus Radiumbariumkarbonat entwickelter Emanation durch Lösungen der genannten Stoffe, als auch wenn Radiumbariumkarbonat mit den betreffenden Substanzen wochenlang in zugeschmolzenen Glasröhren in Verbindung blieb. Auch Stukowathy, der auf Veranlassung von v. Körösy (9) Rohrzucker durch Radiumbestrahlung zu invertieren versuchte, kam zu negativen Ergebnissen. Dagegen trat in unseren Versuchen z. B. die Inversion des Rohrzuckers sehr leicht auf, wenn bakterielle Einflüsse nicht auf das sorgfältigste ausgeschaltet waren. Wir haben daher darauf hingewiesen, daß auch die Zersetzung des Mononatriumurats möglicherweise auf bakterielle Einwirkungen zurückzuführen sei, eine Gefahr, die naturgemäß beim Arbeiten bei Brutschranktemperatur, wie in den Versuchen Gudzents, besonders groß ist.

Auf der anderen Seite wissen wir heute allerdings, daß derartige Effekte radioaktiver Substanzen abhängen von der Stärke der radioaktiven Dosis, die bei den betreffenden Versuchen zur Anwendung kommt. Fernau und Pauli (10) konnten durch Bestrahlung mit Radium natives Eiweiß denaturieren und ausflocken, die Viskosität von Glutin herabsetzen und schließlich die Substanz in Lösung bringen, Albuminate derartig verändern, daß eine Reaktionsverschiebung nach der sauren Seite hin auftrat, alles Effekte, die sehr den Wirkungen der Erhitzung gleichen. Sie konnten ferner die Inversion von Rohrzucker nachweisen und eine Verflüssigung von Agar. Aber diese Resultate wurden erzielt durch tagelange, bei den Versuchen an Eiweißsubstanzen sogar wochenlange Einwirkung von kolossal hohen Dosen (ca. 80 mg Radiumelement), wie sie im Organismus niemals verwandt werden können. Die Befunde dieser Autoren können daher nicht herangezogen werden zur Erklärung der günstigen Wirkungen, die eine Behandlung im Emanatorium mit 4—5 M. E. pro Liter Luft auf die Gicht ausübt.

Hardy (11) konnte Globulinlösungen schon durchsichtig machen, wenn er sie 1 Stunde lang mit 50 mg reinem Radiumbromid bestrahlte ohne Deckel in einer Entfernung von nur 3 mm. War das Präparat mit einer Glimmerplatte bedeckt, so trat keine Wirkung ein. Es handelt sich also um einen Effekt der α-Strahlung, eventuell auch der weichen β-Strahlen. Wir werden diesen Unterschieden in dem Ausmaße der Wirksamkeit der verschiedenen Strahlengruppen auf den verschiedensten Gebieten der biologischen Versuche mit radioaktiven Substanzen begegnen.

Zu ähnlichen Resultaten wie Gudzent kam Mesernitzky (12), aber auch er hat sehr erhebliche Dosen verwandt (ca. 15 Millionen M. E.!). Andererseits stehen auch seine Befunde in einem gewissen Gegensatze zu denjenigen Gudzents. Während nämlich nach den Versuchen des letzteren weder das nur α-Strahlen aussendende Polonium, noch die eine Glaswand durchsetzenden β- und γ-Strahlen des Radiums die besprochene Wirkung auslösen sollen, sondern das Radium D, fand Mesernitzky gerade die α-Strahlung wirksam.

Mit Thorium X haben Falta und Zehner (13) gleichfalls recht erhebliche Wirkungen auf organische Substanzen auslösen können. Sie konnten Stärkelösung und Ovalbuminlösung hydrolisieren. Auch hier aber handelt es sich um Dosen von exzessiver Größe. Die Hydrolisierung der Stärkelösung erforderte eine Einwirkung von 5400 E.-S.-E. während eines Monats, diejenige der Ovalbuminlösung 6000 E.-S.-E. während 10 Tagen.

Auch auf Mononatriumurat fanden Falta und Zehner bei derartigen Dosen eine ähnliche Wirkung, wie sie Gudzent für Radiumemanation angegeben hat. Während in der Thorium-X-Probe das Mononatriumurat in Lösung erhalten wurde, fiel in den Kontrollen mehr als $^2/_5$ des Salzes aus. Ein Teil des Mononatriumurats wurde durch Thorium X deutlich verändert, so daß es mit Salzsäure nicht mehr ausfiel und keine Murexidprobe mehr gab. Bei noch größeren Dosen — bis zu 15000 und 24000 E.-S.-E. — konnte Harnsäure und Mononatriumurat unter Bildung von Ammoniak zersetzt werden.

Plesch (14) hat diese Ergebnisse auf die Bildung von H_2O_2 und Ozon durch Thorium X zurückgeführt, so daß es sich hier um eine indirekte Wirkung handeln würde. Falta und Zehner (15) haben sich gegen diesen Einwurf gewandt.

Wenn man sich auch nach den experimentellen Ergebnissen auf diesem Gebiete der Tatsache nicht verschließen wird, daß derartige Wirkungen extra corpus durch große Mengen strahlender Energie ausgelöst werden können, so ist es doch wohl sicher, daß sie zur Erklärung einer direkten therapeutischen Wirkung nicht herangezogen werden können. Dazu sind die therapeutisch wirksamen Dosen viel zu klein. Meines Dafürhaltens sind alle diese therapeutischen Wirkungen auf Gicht und die verschiedenen Formen von Artritiden als indirekte Wirkungen aufzufassen, wie ich u. a. auf dem Radium-Kongreß in Kreuznach 1922 ausgeführt habe. Ich komme später darauf zurück.

Noch bedeutungsvoller für die Theorie der Wirkung der Radioaktivität auf den Organismus schien eine andere chemische Reaktion, die dem Radium und den radioaktiven Substanzen zugeschrieben wurde: die Zersetzung des Lezithins. Diese Theorie ist von G. Schwarz (16) aufgestellt worden und war wohl von vornherein sehr mangelhaft fundiert. Trotzdem hat sie einen außerordentlichen Anklang gefunden und ist auch heute immer noch nicht, selbst von namhaften Autoren, völlig verlassen, obgleich sie wohl als definitiv widerlegt angesehen werden muß. Schwarz befestigte ein Radiumpräparat auf ein Hühnerei und fand das Eiweiß unverändert, während das Eidotter sich verfärbte und einen Geruch und Geschmack nach Trymethylamin aufwies.

Demgegenüber hat Wohlgemuth (17) an frischem Lezithin gar keine Einwirkung des Radiums konstatieren können. Er nimmt an, daß die von Schwarz beobachtete Zersetzung des Lezithins bei Bestrahlung des gesamten Eies auf Freiwerden autolytischer Fermente zurückzuführen ist.

Ebenso hat sich Loewenthal (18) gegen die Schwarzsche Hypothese ausgesprochen, weil er keinen Effekt der Emanation auf Kobragifthämolyse feststellen konnte. Dagegen haben

Arzt und Kerl (19) Differenzen zwischen bestrahltem und unbestrahltem Lezithin bei der Kobragifthämolyse gefunden, aber diese waren nicht sehr erheblich und auch nicht sehr regelmäßig.

v. Knaffl-Lenz (20) hat mitgeteilt, daß, während weder Emanation noch Lezithin an sich eine Hämolyse von Kaninchenblut bewirkten, die Kombination beider Hämolyse hervorrief. Er schließt daraus, daß die Emanation, ebenso wie das Kobragift, aus dem Lezithin hämolytisch wirkende Spaltprodukte zu bilden vermag. Arzt und Kerl (19) konnten dies Ergebnis für Hammelblut nicht bestätigen.

Thies (21) prüfte den Versuch von Schwarz mit Bestrahlung von Hühnereiern nach unter Anwendung einer Dosis, die das 40fache einer die Gewebe schwer verändernden Dosis betrug. Er gelangte nicht zu einer Bestätigung des Befundes von Schwarz.

Schwarz und Zehner (22) haben die Versuche über die Lezithinwirkung mit Thorium X wieder aufgenommen, und zwar verwendeten sie sehr starke Dosen, 3—5 Millionen M. E. Sie fanden auf diese Weise die älteren Versuche von Schwarz bestätigt. Auch diesen Versuchen ist von Neuberg und Karczag (23) widersprochen worden. Vor allem aber macht Neuberg (3) mit vollem Recht darauf aufmerksam, daß das Lezithin eine so leicht autoxydable Substanz ist, daß man aus der Zersetzung desselben keine weitgehenden Schlüsse ziehen dürfe.

In neuester Zeit haben dann Fernau und Pauli (24) bei ihren Untersuchungen über die Einwirkung der durchdringenden Radiumstrahlen auf verschiedene Biokolloide, bei der sie, wie bereits erwähnt, starke Einwirkungen auf verschiedene Eiweißkörper feststellen konnten, auch die Wirkungen auf Lezithin und Cholestearin untersucht. Sie fanden, daß die so erzielten Veränderungen äußerst geringfügig waren und sich mit den an Eiweißkörpern hervorgerufenen auch nicht im entferntesten vergleichen ließen.

Es ergibt sich aus alledem, daß, wenn überhaupt eine Lezithinzersetzung durch Strahlungsenergie in vitro statt hat, sie sicherlich im Organismus in dieser Weise keine Rolle spielt. Über die biologischen Tatsachen, die gegen die Lezithinhypothese sprechen, werden wir später zu berichten haben.

Einwirkung auf Organe und Gewebe.

Von den Wirkungen der Radiumstrahlen auf die einzelnen Organe waren es ganz naturgemäß zuerst die groben, gewebszerstörenden Effekte, die die Aufmerksamkeit auf sich zogen. Es wurde zunächst festgestellt, daß, wenn man ein radioaktives Präparat auf die Haut eines Menschen einwirken ließ, sich je nach der Stärke der Einwirkung eine Rötung an der betreffenden Stelle zeigte, welcher häufig ein Erythem, Blasenbildung, und wenn die Exposition lange genug gewährt hatte, schwer heilende Ulzerationen folgten. Derartige Erfahrungen wurden zuerst mitgeteilt von Walkhoff (25), Giesel (26), Becquerel und Curie (27) usw. Auch schon ohne schwere Läsionen der Haut wurde zuerst von mir (28) Haarausfall beobachtet.

Seitdem sind die Wirkungen der Strahlen auf die Haut eingehend von den verschiedensten Autoren untersucht worden. Es seien hier nur genannt Exner und Holzknecht (29), Halkin (30), Scholtz (31), Straßmann (32), Werner (33), Guyot (34), Kaiserling (35) und Rost (36).

Natürlich hängen die Wirkung und die Veränderungen, die wir an Haut und Geweben vor uns sehen, in erster Linie von der Dosierung ab. Die äußeren Erscheinungen auf der Haut variieren daher zwischen leichter Rötung, ausgesprochenem Erythem mit oder ohne Blasenbildung und den erwähnten schweren Ulzerationen.

Ferner aber macht es einen großen Unterschied gerade für die Veränderungen an der Haut, welchen Strahlenkomplex man verwendet. Je weniger durchdringend die Strahlen sind, die ceteris paribus die Körperoberfläche treffen, um so intensiver ist die Einwirkung auf die Körperoberfläche.

Im einzelnen kann die Veränderung der Gewebe im Rahmen dieser Abhandlung nicht besprochen werden. Nur folgende wichtige Punkte verdienen eine Erwähnung. Schon bei der Bestrahlung der Haut kann man die wichtige Tatsache konstatieren, daß keine gleichmäßige Empfindlichkeit der verschiedenen Zellarten für die Strahlung besteht.

Die stärksten Veränderungen in der Haut zeigen sich im Rete Malpighii, und zwar hier besonders in der Keimschicht, während die Hornschicht der Epidermis außerordentlich wenig radiosensibel ist. Auch das Korium zeigt nur eine mäßige Radiosensibilität, während sich die Haarfollikel und die Nagelmatrix wiederum durch besonders intensive Strahlenempfindlichkeit auszeichnen. Radiosensibel sind auch die Gefäßendothelien. Dies führte manche Autoren, wie Halkin (l. c. 30) und Straßmann (l. c. 32), zu der Anschauung, daß die Schädigung der Gefäßwandungen die Primärwirkung darstelle, und die Zellschädigung erst sekundär durch Gefäßzerstörung, Blutaustritt und Ernährungsstörungen bedingt werde. Diese Auffassung ist wohl sicher nicht zutreffend. So beobachtete Rost (36) die Schädigung der Gefäßendothelien erst am 5. Tage nach der Bestrahlung. Ebenso lehnt Thies (21) auf Grund seiner Versuche die indirekte Schädigung durch primäre Alteration der Gefäßwand ab. Sehr deutlich geht das Irrige dieser Annahme auch aus den Versuchen von Thaler (37) hervor. Dieser stellte fest, daß bei der durch Bestrahlung herbeigeführten Degeneration der Hoden von Ratten weder Blutung noch Diapedese auftrat, vielmehr waren die Blutgefäße zwischen vollkommen zerstörten Hodenkanälchen durchaus intakt.

Wichtig erscheint ferner, worauf Rost besonders hinweist, daß die relativ geringe Radiosensibilität des Bindegewebes sich nur auf das fertige kollagene Gewebe bezieht, während die Fibroblasten mindestens ebenso radiosensibel sind wie die empfindlichen Teile des Epithels. Es ist diese Feststellung deswegen von besonderer Bedeutung, weil sie der weitverbreiteten Anschauung widerspricht, daß bei der Therapie der bösartigen Geschwülste eine Dosis gewählt werden müsse und könne, die auf die Tumorzellen zerstörend einwirkt, während sie das Bindegewebe lokal reizt. Eine solche direkte lokale Reizung des Bindegewebes mit einer für Tumorzellen zerstörenden Dosis ist nach diesen Feststellungen außerordentlich unwahrscheinlich.

Wiederholt wurde auch beobachtet, daß der schädigenden Wirkung eine Reizung voranging, die sich in vorübergehender Zellwucherung zu erkennen gab. Derartige Befunde wurden von Guyot (34) an der Haut der Maus erhoben, von Grasnick (38) an der Epidermis der Larven von Rana fusca. Thies (21) sah nach Hautbestrahlungen Wucherungen der unmittelbar in der Umgebung des bestrahlten Gebietes gelegenen Epidermis.

Selbstverständlich ist auch die Resistenz gegen die Einwirkung der Strahlen, wie sie einzelne Gewebsarten zeigen, nur eine relative. So konstatierte z. B. Thies (21), daß nach mehrstündiger Bestrahlung auch das Bindegewebe der Haut teilweise zerstört war. Das gleiche gilt von der Muskulatur. Nach der Bestrahlung des Processus ensiformis von Meerschweinchen sah Thies Knorpelwucherung und ebenso Wucherung von Bindegewebe.

Schon die ersten Tatsachen, die über die Veränderungen und Schädigungen der Haut bekannt wurden, führten weiterhin zu der Feststellung, daß zwischen der Bestrahlung und dem Sichtbarwerden der Veränderungen eine je nach der Stärke der

Dosis wechselnde Latenzzeit besteht, die tage-, ja wochenlang sich hinziehen kann. Diese Tatsache erschien zunächst recht rätselhaft. Auf die Erklärung derselben kommen wir später zurück.

Es ergibt sich also aus den Beobachtungen der Hautschädigungen, daß den verschiedenen Geweben, die dies komplizierte Organ zusammensetzen, eine verschiedene Reaktionsfähigkeit auf die Strahlenwirkung zukommt, auch wenn sie sich unter durchaus gleichartigen Bedingungen den Strahlen gegenüber befinden. Diese Tatsache tritt nun immer wieder in Erscheinung, welches Organ auch immer wir der strahlenden Energie aussetzen, und in welcher Form auch immer die strahlende Energie verwandt wird. Diese verschiedene Radiosensibilität besteht in gleicher Weise gegenüber den Röntgenstrahlen, den ultravioletten Strahlen und den verschiedenen Formen der Radiumbestrahlung, Mesothoriumbestrahlung usw.

Als sehr radiosensibel erwiesen sich die Keimzellen. Diese Tatsache war für die Röntgenstrahlen bereits durch die Versuche von Albers-Schönberg (39), Bergonnié und Tribondeau (40), Halberstaedter (41) und anderen bekannt. Es wurde die hohe Empfindlichkeit des Hodengewebes von Ratten gegenüber der Radiumbestrahlung festgestellt und genauer untersucht von Thaler (37), des Kaninchenhodens gegenüber Mesothoriumbestrahlung von Simmonds (42), die der Ovarien von Meerschweinchen durch Schiffmann (43). Von intravenösen oder subkutanen Injektionen von Thorium X bei Kaninchen wollen jedoch Rost und Krüger (44) keinerlei histologisch nachweisbare Veränderungen am Kaninchenhoden gesehen haben. Besonders lehrreich ist ein Versuch von London (45), der bei Kaninchen bei Bestrahlung der Tiere in toto Atrophie der Hoden feststellen konnte.

Auch bei Bestrahlung der Sexualorgane zeigt sich wie bei der Haut, daß nicht das ganze Organ gleichmäßig strahlenempfindlich ist. Sowohl bei Hoden als auch bei Ovarien sind die Zwischenzellen sehr resistent im Vergleich zu den eigentlichen Keimzellen. Aber auch in dem eigentlichen Keimapparat zeigen sich wieder Unterschiede. So sind bei den Hoden die Spermatogonien am empfindlichsten, in den Ovarien die Follikelepithelien.

Sehr interessant ist die Wirkung auf das Zentralnervensystem. Die ersten derartigen Versuche wurden von Bohn (46) am Frosch ausgeführt. Er fand das Zentralnervensystem auffallend resistent. Obersteiner (47) bestrahlte weiße Mäuse mit 10—50 g Radiumbromid während 1—4 Tagen. Alle Tiere gingen unter Krämpfen, Opistotonus und Manegebewegungen zugrunde. Bei der Sektion ergaben sich Blutungen und Hyperämie des Rückenmarks sowie der Meningen. Die Nervenzellen dagegen waren wenig verändert. Noch deutlicher erwies sich die geringe Empfindlichkeit der Gehirnsubstanz in Versuchen an Affen. Horsley und Finzi (48) bestrahlten das Gehirn dieser Tiere mehrere Stunden mit einem Präparate entsprechend 27,7 mg Radiumelement. Zur Wirksamkeit kamen die penetrierenden β-Strahlen und die γ-Strahlen. Die Tiere zeigten weder zu Lebzeiten nervöse Störungen, noch fanden sich bei der mikroskopischen Untersuchung erhebliche Veränderungen des Zentralnervensystems. Ähnliches wird auch über die Wirkungen der Röntgenstrahlen auf das Zentralnervensystem berichtet. Gegen große Dosen und lange Einwirkung radioaktiver Substanz ist naturgemäß auch das Gehirn empfindlich, denn die Resistenz sämtlicher Organe ist nur eine relative.

London (45) setzte Kaninchen wochenlang der Einwirkung der Strahlen eines Präparates von 26 mg Radiumbromid aus. Erst nach 15 Tagen traten Veränderungen auf, und zwar im wesentlichen von seiten der Haut, des Nervenapparats, der Augen und der geschlechtlichen Funktionen. Die Veränderungen des Nervensystems sprachen sich besonders in Störungen der Motilität aus. Über die mikroskopischen Befunde wird nichts Näheres angegeben. Dagegen

werden die histologischen Befunde der Gehirne von anderen Kaninchen angeführt, bei denen London durch seinen Mitarbeiter Horowitz dünnwandige Glasröhrchen mit 1 mg Radiumbromid direkt einführen ließ. Diese Röhrchen wurden dann, falls nicht der Tod des Versuchstieres früher eintrat, 10 Tage an dem jeweiligen Orte belassen. Hier kam es zu einem Schwund des Chromatins in den Zellen des Gehirns und des Rückenmarks.

Von anderen Autoren berichtet v. Knaffl-Lenz (49) über schwere Veränderungen der Hirnganglienzellen bei Ratten, die 40 Stunden hindurch in einer Luft gehalten wurden, die bis zu 40000 M. E. pro Liter Emanation enthielt.

Aus neuester Zeit liegen dann Versuche vor von Morowoka und Mott (50), die in der Lage waren, das Gehirn von Tieren der starken Einwirkung der γ-Strahlung von 5 g reinem Radiumbromid auszusetzen. Die Versuche wurden an Ratten, Kaninchen und Katzen ausgeführt. Bei Ratten und Kaninchen fanden sich nach längerer Expositionszeit — bis zu 48 Stunden — verschiedene Grade von Veränderungen und Zerstörung der chromophilen Substanz des Protoplasmas der Nervenzellen und einige Kernveränderungen. Dauerte die Expositionszeit nur 3 Stunden, so waren dagegen die Veränderungen nur sehr wenig ausgesprochen. Katzen erwiesen sich als viel resistenter. Selbst wenn die Tiere Tage, Wochen oder Monate eine lange Bestrahlung mit dieser kolossalen Dosis überlebten, traten keine schwereren nervösen Symptome ein, und die Veränderungen des Gehirns erwiesen sich bei der histologischen Untersuchung als ziemlich unbeträchtlich.

Wir dürfen daher wohl schließen, daß das Gehirn im großen und ganzen in Übereinstimmung mit den Versuchen von Obersteiner nicht als ein Organ von hoher Radiosensibilität angesehen werden kann. Es bestehen aber offenbar Unterschiede zwischen den verschiedenen Tierarten, und zwar scheinen größere Tiere widerstandsfähiger zu sein als kleine, vielleicht eine Folge des besseren Schutzes durch die dickere Schädeldecke.

Ganz anders jedoch verhält sich das embryonale Hirn, und zwar in Abhängigkeit von dem jeweiligen Entwicklungsstadium. In manchen Phasen des embryonalen Lebens ist das Zentralnervensystem das empfindlichste Organ überhaupt (O. Hertwig, 51). O. Levy (52) berichtet als Resultat der mikroskopischen Untersuchung von hinterlassenen Präparaten A. Schapers über den Einfluß der Röntgenstrahlen auf Froschlarven, daß bei Frühstadien die Zerstörung des Zentralnervensystems in allererster Linie steht. Bei späteren Stadien jedoch, wenn die Larven 18—20 mm erreicht haben, wird zwar das Zentralnervensystem auch zerstört, das Primäre ist aber dann eine Schädigung und Zerreißung der Blutgefäße und kolossaler Bluterguß. Daß es nicht die Nervenzellen sind, die dann primär geschädigt werden, geht nach Levy daraus hervor, daß das Retinalblatt des Auges, das sich durch besondere Empfindlichkeit in den Frühstadien auszeichnet, völlig normal bleibt. Es handelt sich also nicht um eine spezifische Wirkung auf das embryonale Zentralnervensystem, sondern die schwerste degenerative Schädigung trifft diejenigen Zellen, die sich teilen, und besonders solche, die nach der Teilung in einem raschen Assimilationsprozesse heranwachsen müssen.

Ähnlich sah H. E. Schmidt (53) nach Bestrahlung von Axolotl-Eiern mit Röntgenstrahlen einen starken Zerfall der Hirn- und Rückenmarkszellen. Der Autor läßt die Frage unentschieden, ob eine besondere Radiosensibilität dieses Gewebes besteht, oder die Zerstörung so stark sei, weil die Bestrahlung zur Zeit der Anlage des Zentralnervensystems erfolgte. Nach dem, was wir aus dem Gesamtüberblick über die Literatur festgestellt haben, ist sicher die zweite Deutung die richtige. In gleichem Sinne sprechen die Versuche von Bagg (54) an schwangeren Ratten. Der Wurf zeigte nach der Geburt besonders starke Störungen des Auges und Zentralnervensystems.

Es ergibt sich also, daß nicht nur die verschiedenen Gewebsarten eine verschiedene Radiosensibilität haben, sondern auch dasselbe

Gewebe, je nach dem Entwicklungsstadium, in dem es sich befindet.

Was die peripheren Nerven anbetrifft, so zeigen diese nach den Versuchen von Scholtz (31) und Okada (55) keine wesentlichen Veränderungen, so daß man das periphere Nervensystem als wenig radiosensibel ansehen muß. Selbst bei Dosen, die genügten, um die wenig sensible quergestreifte Muskulatur deutlich zu schädigen, war der direkt bestrahlte Ischiadicus stets intakt. Nach sehr starker Einwirkung wurden auch die peripheren Nerven geschädigt. E. S. Redfield, A. C. Redfield und Forbes (56) bestrahlten den Ischiadicus von Fröschen. Sie fanden Herabsetzung der Leitfähigkeit bis zur Abtötung der bestrahlten Stelle. Mikroskopisch wurde Fettdegeneration der Markscheiden festgestellt.

In einem gewissen Gegensatze zu der relativen Widerstandsfähigkeit des Nervensystems steht die Tatsache der analgesierenden Wirkung des Radiums, die zuerst von Darier (57) beschrieben und seitdem vielfach bestätigt worden ist. Eine Erklärung dieser Erfahrung ist nicht sicher zu geben. Man könnte bei dieser Wirkung der allgemeinen Emanationsbehandlung an eine Veränderung der Blutversorgung des Zentralnervensystems denken; bei der direkten Bestrahlung etwa bei Fällen von Trigeminusneuralgie sei ganz hypothetisch darauf aufmerksam gemacht, ob nicht das in der Umgebung der bestrahlten Partie mehr oder weniger stark entstehende sekundäre Ödem eine Art Polsterung des Nerven und damit eine Abnahme der Schmerzhaftigkeit bewirken könne.

Es würde zu weit führen, auf die Radiosensibilität der einzelnen Organe im Rahmen dieser Zusammenstellung näher einzugehen, zumal die wechselnde Empfindlichkeit des gleichen Organs bei verschiedenen Tierarten, die wir oben kurz erwähnt haben, auch sonst die Darstellung sehr kompliziert. Wer sich auf das genaueste darüber unterrichten will, sei auf die Veröffentlichung von Lazarus-Barlow (58) hingewiesen. Dieser untersuchte die verschiedensten Organe von Fröschen, Ratten, Kaninchen und Katzen nach Bestrahlung mit 5 g Radiumbromid während verschiedener Zeitdauer. Nur einiges aus diesen und älteren Versuchen sei noch kurz gestreift.

Ziemlich stark radiosensibel sind die Epithelien des Magen-Darm-Kanals. Weniger empfindlich Leber, Niere, Herzmuskulatur, gestreifte und glatte Muskulatur, sowie die Stützsubstanzen. Selbstverständlich werden aber auch diese Organe durch genügend starke Dosen in kürzerer oder längerer Zeit angegriffen (Thies, l. c. 21). Bei der Niere zeigt sich übrigens der Unterschied in der Radiosensibilität auch einander morphologisch sehr nahestehender Organbestandteile in besonders interessanter Weise: die Epithelien der tubuli contorti erwiesen sich als viel empfindlicher als die der abführenden Harnkanälchen.

Im übrigen mag nur erwähnt sein, daß nach den Untersuchungen von Lazarus-Barlow die bei weitem resistentesten Organe sind: das Pankreas, die Speicheldrüsen, Thyreoidea und Parathyreoidea.

Therapeutisch hat sich als besonders wichtig ergeben, daß die bösartigen Tumoren sich durch ziemlich starke Radiosensibilität auszeichnen. Und zwar ist die Empfindlichkeit der Geschwülste im allgemeinen um so größer, je bösartiger die Geschwulst ist. Diese Differenz gilt nicht nur zwischen gutartigen und bösartigen Blastomen, sondern auch für die einzelnen bösartigen Geschwülste gleichen Charakters. Im ersteren Falle ist der Unterschied ein so großer, daß er differentialdiagnostisch verwandt werden kann (59). Auf die außerordentlich hohe Bedeutung dieser Erkenntnis für die Therapie der malignen Tumoren kann an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden. Ich verweise diesbezüglich auf meine kleine Monographie über die biologischen Grundlagen zur Strahlentherapie bösartiger Geschwülste (60).

Bei weitem stärker als alle anderen Organe reagiert jedoch der hämopoetische Apparat auf die strahlende Energie.

Auch hier decken sich die Befunde, die mit radioaktiven Substanzen, sei es durch Bestrahlung mit Radium oder Mesothorium, sei es durch Emanationsbehandlung in irgendwelcher Form, sei es durch intravenöse Einverleibung von Thorium X, erzielt worden sind, im Prinzip miteinander und auch mit dem, was bei Anwendung der Röntgenstrahlen gefunden wurde.

Die grundlegenden Feststellungen über die Wirkung strahlender Energie auf die Milz und den ganzen lymphatischen Apparat verdanken wir den vorzüglichen Untersuchungen von Heinecke (61). Dieser stellte für Röntgen- sowohl wie für Radiumstrahlen eine Zerstörung des lymphoiden Gewebes in allen Organen des Körpers fest, die von den Strahlen getroffen werden, ferner ein Zugrundegehen der Zellen der Milzpulpa und des Knochenmarkes, sowie Vermehrung des Pigmentes in der Milz. Zunächst werden die Lymphfollikel zerstört, dann erst tritt die Rarefikation der Pulpazellen ein und die gesteigerte Ablagerung von Pigment. Die Veränderungen der Lymphfollikel und der Milz beginnen in den Keimzellen und greifen erst später auf die Randzonen über. In der Milz der bestrahlten Mäuse fehlten die normalerweise dort vorhandenen Riesenzellen fast ganz. Vor allem stellte Heinecke fest, daß das lymphoide Gewebe bereits auf Dosen mit vollständigem Zerfall reagiert, die unter gleichen Verhältnissen an anderen Organen, speziell an dem Epithel der Haut, noch gar keine Veränderungen hervorbringen können.

Zu ähnlichen Ergebnissen wie Heinecke gelangte Thies (21). Auf die umfangreichen Versuche von Krause und Ziegler (62) mit Röntgenstrahlen sei wenigstens kurz hingewiesen.

Auch das Knochenmark erwies sich in Versuchen von Thies als sehr strahlenempfindlich. Doch sind nach Heinecke die eigentlichen Knochenmarkzellen nicht so sensibel wie die Lymphzellen. Immerhin zeigten auch die Knochenmarkzellen, selbst die granulierten Leukozyten, eine wesentlich höhere Sensibilität als andere Zellarten. Andererseits scheint die Differenz zwischen den verschiedenen Arten der Leukozyten nicht unerheblich zu sein. Denn Aubertin und Baujard (63) sahen bei Versuchen mit Röntgenstrahlen an Fröschen bei gleicher Dosis Nekrose der Lymphozyten und gesteigerte Aktivität im myeloischen System.

Es sei auch in Übereinstimmung damit auf die prompte Reaktion hingewiesen, die, wie keine anderen Tumoren, die malignen Lymphome gegen Bestrahlungen zeigen.

In innigem Zusammenhang mit diesen Feststellungen über die Schädigung des hämatopoetischen Apparates stehen die Veränderungen des Blutes. Hierüber liegt ein großes literarisches Material vor, da diese Vorgänge das Interesse der Kliniker in hohem Maße erregt haben. Die ersten derartigen Erfahrungen stammen von Bouchard, Curie und Balthazard (64). Sie fanden bei Mäusen unter längerdauernder Einwirkung stärkerer Emanationsdosen eine ausgesprochene Hypoleukozytose. Ähnlich sah Heinecke in seinen Versuchen an Mäusen die Leukozytenzahl am zweiten Tage nach der Bestrahlung bis auf 1000 pro cmm sinken, um sich dann wieder zu heben. Nach Anwendung geringerer Dosen, 25—225 M. E. pro Liter Luft, und 2—5 stündigem Aufenthalte im Emanatorium wurde wohl zuerst von v. Noorden und Falta (65) am Menschen eine Hyperleukozytose beobachtet.

Besonders umfangreiche Untersuchungen über die Beeinflussung des Blutbildes wurden mit Thorium X angestellt. Falta, Kriser und Zehner (66) fanden bei Verwendung größerer Dosen bei Meerschweinchen, Kaninchen und Hunden meist nach vorübergehender Leukozytose einen starken Abfall der Leukozytenzahl, der sich über lange Zeit hinaus erstrecken und schließlich zur völligen Aleukozytose führen kann.

Gleichzeitig teilten Pappenheim und Plesch (67) Versuche an Kaninchen mit, denen sie tötliche oder nahezu tötliche Dosen von Thorium X intravenös oder per os einverleibten. Die Ergebnisse stimmen mit denen der eben genannten Autoren im großen und ganzen überein.

Pappenheim und Plesch verweisen darauf, daß bei den Thorium X-Wirkungen mehr als bei anderen Applikationsformen radioaktiver Substanzen die Wirkung auf die Blutgefäße, enorme Hyperämie und parenchymatöse Blutungen in den Organen im Vordergrunde des histologischen und auch des klinischen Bildes stehen. Das Thorium X ist ja auch in mancherlei Beziehungen, vor allem in der Kurzlebigkeit seiner gasförmigen Emanation, nicht unerheblich vom Radium verschieden, und es ist nicht ausgeschlossen, daß dadurch auch gewisse Unterschiede in der Wirkung bedingt sein können. Übrigens lehnen es diese Autoren sicherlich mit Recht ab, daß die Wirkung auf die Organzellen etwa nur eine Folge der Zirkulationsstörungen sei. Dieselben werden vielmehr direkt und unabhängig von der Gefäßwirkung angegriffen.

Hirschfeld und Meidner (68) kamen zu ähnlichen Ergebnissen wie die zitierten Autoren. Gudzent (69) fand bei kleinen Dosen eine Hyperleukozytose, nach größeren eine mehr oder weniger ausgesprochene Leukopenie.

Beim Menschen fand Heinecke (70) schon 1—2 Stunden nach Radium- oder Röntgenbestrahlung eine Verminderung der polynukleären Leukozyten. Später sank die Zahl der Leukozyten und besonders der Lymphozyten unter die Norm. Erst allmählich stellten sich wieder normale Werte her.

Schweitzer (71) bestrahlte Portiokarzinome 12—20 Stunden mit 75 mg Mesothorium. Er machte die gleichen Feststellungen hinsichtlich des Blutbildes wie Heinecke. Erst 8 Wochen nach der Bestrahlung trat Rückkehr zur Norm ein. Die primäre Leukozytose betraf aber nur die polynukleären Neutrophilen, die Lymphozyten nahmen sofort ab. Die Restitution trat aber auch im Blute wie in den betreffenden Organen bei den letzteren viel früher ein.

Sehr anschaulich sind die Feststellungen und Kurven, welche von Siegel (72) über die Veränderungen des Blutbildes nach gynäkologischen, Röntgen-, Radium- und Mesothoriumtiefenbestrahlungen mitgeteilt worden sind. Siegel fand nach einer derartigen Applikation in allen Fällen eine Leukozytose, die 3—6 Tage dauerte und am 2.—4. Tage ihren Kulminationspunkt erreicht hatte. Diese Zunahme beschränkte sich auf die polymorphkernigen neutrophilen Elemente, während die Lymphozytenzahl sich überhaupt wenig veränderte.

Bei der Maus dagegen, bei der das normale quantitative Verhalten des Blutbildes hinsichtlich des Gehaltes an Lymphozyten und Polynukleären annähernd umgekehrt ist wie beim Menschen, scheint auch der Effekt der Bestrahlung der umgekehrte. Während beim Menschen die Polynukleären in erster Linie zerfallen, sind es bei den Mäusen nach meinen Erfahrungen die Lymphozyten.

Bei Kaulquappen ist das Verhältnis von Lymphozyten und polymorphkernigen Leukozyten normaliter wie 4:1. Bei bestrahlten Larven zerfallen zuerst die Lymphozyten. Das Zahlenverhältnis dieser Blutzellformen erfährt dann direkt eine Umkehrung (Adele Hartmann, 73).

Zöllner (74) hat Meerschweinchen durch Röntgenstrahlen und durch Thorium X zu Tode bestrahlt. Das durch die letale Bestrahlung bedingte Blutbild war charakterisiert durch völliges Verschwinden der polymorphkernigen Leukozyten bei relativer Lymphozytose, die aber tatsächlich schwerste absolute Lymphopenie war. Ganz ähnlichen Befund hatten Krause und Ziegler (62) bei einer Ratte als Folge intensiver ungefilterter Röntgenbestrahlung.

Nach Siegel sind die Blutveränderungen teils reversibel, teils irreversibel. Das hängt einerseits naturgemäß von der absoluten Stärke der Einwirkung ab, andererseits aber auch von dem Zustande des Gesamtorganismus und seinem Regenerationsvermögen.

Es seien hier einige charakteristische Kurven aus der Arbeit von Siegel wiedergegeben.

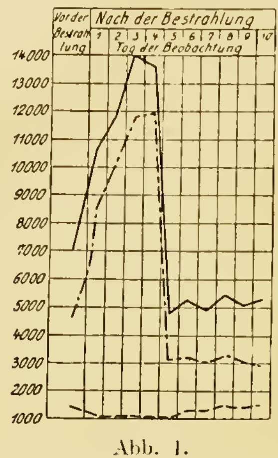


Abb. 1.
Leukozyten, Neutrophile und Lymphozyten einer mit Radiumkanone behandelten myomkranken Frau. (Mittel aus 14 Fällen.) Ovarialdosis.

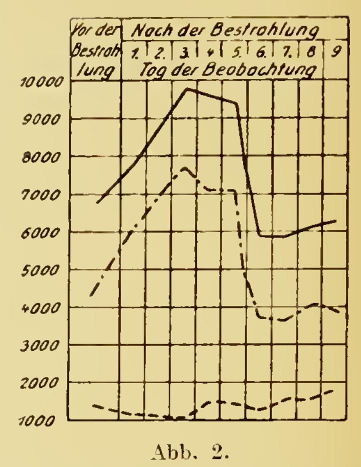


Abb. 2.
Leukozyten, Neutrophile und Lymphozyten einer mit 50 mg Radium 48 Stunden intrauterin bestrahlten Frau. (Mittel aus 22 Fällen.)

——— Leukozyten. —·—·— Neutrophile Leukozyten. ------ Lymphozyten. (Nach Siegel.)

Dennoch glaube ich, daß die Darstellung Siegels und seine Kurven nicht ganz vollständig sind. Schon Aubertin und Delamare (75) sowie Heinecke (76) haben darauf hingewiesen, daß die so überaus empfindlichen Zellen des lymphoiden Gewebes sich hinsichtlich ihrer Radiosensibilität von allen übrigen Organzellen auffallend unterscheiden. Während bei allen sonstigen Zellen zwischen der Bestrahlung und dem Effekt, sei er an sich noch so stark und endige er auch mit einer kompletten Zerstörung des Gewebes, stets eine Latenzzeit vergeht, bis der ausgelöste Effekt manifest wird, tritt die Zerstörung der Zellen des lymphoiden Gewebes und ihrer Abkömmlinge im Blut fast momentan „explosionsartig" auf. Die Richtigkeit dieser Anschauung wird bestätigt durch die Ergebnisse von Russ, Chambers, Scott und Mottram (77) für Röntgenbestrahlung, und von Mottram und Russ (78) auch für Radiumbestrahlung von Ratten. Auch eigene Versuche mit Gesamtbestrahlung des Körpers von Mäusen mit gering dosierter penetrierender Röntgenstrahlung sprechen in gleichem Sinne. Doch ist dieser Leukozytensturz im Blute sehr schnell vorübergehend und läßt sich zuweilen nach 20 Minuten bis einer halben Stunde nicht mehr nachweisen, wahrscheinlich, weil durch Ausschwemmung aus den haemopoetischen Organen für die im Kreislauf zugrunde gegangenen Leukozyten bald Ersatz geliefert wird.

Auch für den Menschen hat Ada Wagner (79) nach Bestrahlung mit Röntgenstrahlen den primären Leukozytensturz in der Tat feststellen können, wenn sie das Blutbild von Patientinnen $2^1/_2$ Stunden nach Verabfolgung der Ovarialdosis mit dem Blutbild vor der Bestrahlung verglich. Nach Verabfolgung der gleichen Dosis mittels intrauteriner Mesothoriumbestrahlung vermißte sie allerdings den primären Abfall. Hier wurden angewandt 2400—2500 mg Radiumelementstunden. Die Stärke des verwandten Präparates wird nicht angegeben. Es ist aber doch wohl anzunehmen, daß die Bestrahlung sehr lange Zeit in Anspruch nahm und dabei in Übereinstimmung mit den Ergebnissen der eben erwähnten Tierversuche der Abfall $2^1/_2$ Stunden nach Beendigung der Behandlung bereits vorüber war. Wagner deutet das unterschied-

liche Verhalten nach Röntgen- und Mesothoriumbestrahlung dahin, daß die letztere in ihrer Wirkung viel stärker lokalisiert sei. Der nach Röntgenbestrahlung eintretende primäre Abfall betrifft nach diesen Untersuchungen die polynukleären Leukozyten, nicht wie bei Maus und Ratte die Lymphozyten.

In dem Buche von Falta (2) findet sich ferner ein Versuch Zehners am Menschen mit subkutaner Einspritzung einer geringen Menge von Thorium X. Dort sinkt die Leukozytenzahl ½ Stunde nach der Injektion von 8200 auf 5700, nach 3 Stunden beträgt sie wieder 7200. 6 Tage später sinkt sie ½ Stunde nach erneuter Injektion von 8400 auf 7800. Der Effekt der zweiten Injektion ist also nicht mehr so deutlich wie der der ersten. Es liegt in diesem Falle keine Differentialzählung der Leukozyten und Lymphozyten vor, so daß nicht zu entscheiden ist, welche dieser beiden Gruppen vornehmlich in Zerfall geraten ist. Für die Zählungen, die nach Aufenthalt im Emanatorium vorgenommen wurden, ist es nicht erstaunlich, daß nach mehrstündigem Aufenthalt im Apparat dieser primäre Effekt bereits abgeklungen ist und der reaktiven Hyperleukozytose Platz gemacht hat, die bei Anwendung nicht gar zu großer Dosen sehr bald dem primären Leukozytenabfall folgt, und die wohl zunächst sicher auf eine Ausschwemmung aus dem hämatopoetischen Apparat zurückzuführen ist.

In den Kurven von Siegel folgt auf diesen Leukozytenanstieg dann ein mehr oder weniger starker Abfall, den ich darauf zurückführen möchte, daß die Schädigung des hämatopoetischen Apparates hier in Erscheinung tritt. Später tritt je nach der Größe der Dosis und der Widerstandsfähigkeit der Person (man darf nicht vergessen, daß all die Versuche von Siegel u. a. an mehr oder weniger schwerkranken Individuen gemacht sind) eine allmähliche Rückkehr zur Norm ein.

Ich möchte bei dieser Gelegenheit auf einen Umstand hinweisen, der hier wie anderwärts leicht zu irrtümlichen Vorstellungen führen kann. Die Strahlentherapeuten, denen wir, wie ja aus diesen Darstellungen hervorgeht, sehr wichtige Feststellungen über die biologische Wirkung der Strahlen verdanken, sprechen häufig von „großen“ und „kleinen“ Dosen, wobei sie mit großen Dosen die sogenannte Karzinomdosis oder, was ziemlich identisch ist, die Erythemdosis bezeichnen. Von diesem Gesichtspunkte aus wird dann schon die Ovarial- oder Kastrationsdosis als „kleine“ Dosis bezeichnet. Aber auch in diesen Fällen ist die strahlende Energie noch sehr erheblich gegenüber den Mengen, die etwa in einem „4-Mache-Emanatorium“ dem Organismus zugeführt werden. Es ist ja auch diesen Dosen wegen ihrer Kleinheit zu Unrecht die Möglichkeit therapeutischer Wirkungen abgesprochen worden. Nach solchen Dosen, die etwa denen entsprechen, die von den erwähnten englischen Autoren bei Ratten (l. c. 77 u. 78) und von mir und meinen Mitarbeitern bei Mäusen untersucht worden sind, verhält sich das Blutbild ganz anders. Hier folgt auf den vorübergehenden Abfall unmittelbar nach der Bestrahlung ein ständiger allmählicher Anstieg der Leukozyten, der sich über Wochen und Monate hinziehen kann und unter Umständen ganz enorme Werte erreicht. Bei den Mäusen und Ratten betrifft diese Vermehrung wie der Zerfall ganz überwiegend die Lymphozyten, beim Menschen scheint es nach den Kurven von Siegel und Ada Wagner wahrscheinlich, daß sich hier der Vorgang bei den Neutrophilen abspielt. So sah Margarete Levy (80) nach subkutaner Injektion löslicher Radiumsalze mit einem Emanationsgleichgewicht von 2000—8000 M. E. und ebenso nach Aufenthalt im Emanatorium von 2—5 M. E. pro Liter Luft eine über mehrere Tage anhaltende Hyperleukozytose. Ähnliches berichten Gudzent und Mitarbeiter (81) nach intravenöser Injektion von 0,0033—0,0066 mg Thorium X.

Es wäre sehr wünschenswert, wenn der Frage des primären Leukozytensturzes bei der Strahlentherapie jeder Art erhöhte Aufmerksamkeit zugewandt würde. Mir jedenfalls erscheint sie von erheblicher Wichtigkeit, weil ich in diesem primären Leukozytenzerfall und den dadurch freiwerdenden „Zellzerfallshormonen“ die Ursache für die therapeutische Wirkung geringfügiger Radiumdosen, wie sie z. B. durch Emanationsbehandlung in den Körper gelangen, überhaupt sehe (82) und glaube, daß diesen Vorgängen auch bei der lokalen Behandlung mit

starken Dosen neben der direkten Einwirkung eine erhebliche Bedeutung zukommt. Ich kann hier nicht ausführlicher auf diesen Punkt eingehen und verweise diesbezüglich auf meine kleine Monographie (60). Soviel aber sei gesagt, daß wir z. B. bei lokalen Bestrahlungen von Tumoren zwei Komponenten der Wirkung vor uns haben: eine am Ort der Bestrahlung und eine allgemeine. Die letztere geht aus von dem Zerfall der Tumorzellen, aber auch von dem der empfindlichen Blutelemente. Man kann die durch den Zerfall der Blutzellen bedingte Allgemeinwirkung auch isoliert zur Anschauung bringen durch Aufenthalt im Emanatorium oder kurze Allgemeinbestrahlung mit Röntgenstrahlen. Die Allgemeinwirkung der Röntgenbestrahlung, hervorgerufen durch das Auftreten von „Leukotoxinen" aus den untergehenden Leukozyten, nahmen schon Helber und Linser (83) sowie Cursehmann und Gaupp (84) an. Doch konnten Klieneberger und Zoeppritz (85) die Befunde dieser Autoren nicht bestätigen. Auch Quadrone (86) sieht die therapeutische Wirkung der Röntgenstrahlen in einer Zerstörung von Gewebs- und Blutzellen. Dabei treten vermehrte „Alexine" auf, die aber durch stärkere Bestrahlung wieder zerstört würden. Auf die Wirkung auf Antikörper usw. soll später noch eingegangen werden. Ähnliche Gedankengänge finden sich auch bei Kaznelson und Lorant (87).

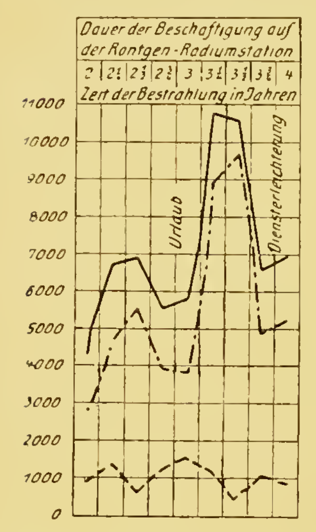


Abb. 3.
Blutbild einer 4 Jahre lang indirekt unter Röntgen- und Radiumstrahleneinwirkung stehenden Bestrahlungsschwester.
—— Leukozyten.
—·—·— Neutrophile Leukozyten.
----- Lymphozyten.
(Nach Siegel.)

Die gleichen Wirkungen wie mit Radium und Thorium X erzielten Fernau, Schrammel und Zarzycki (88) auf das Blutbild von Kaninchen durch intravenöse Injektion von Polonium.

Das soeben besprochene Blutbild gilt aber nur für einmalige Behandlung mit kleinen Dosen. Wird dieser Vorgang in nicht zu engen Intervallen wiederholt, so überschneiden sich die Effekte in der Weise, daß der Abfall immer geringer wird und ein treppenförmiger Anstieg der Leukozytenzahl erfolgt. Der so erreichte Endeffekt ist häufig ein sehr großer. So sahen Mottram, Chambers, Scott und Russ bei ihren oben zitierten Versuchen mit Röntgenstrahlen bei Ratten (77) schließlich eine Zunahme der Leukozyten von 11000 und 25000 pro cmm auf 112000 und 117000. Doch ist hier eine Einschränkung zu machen. Die Wirkung ist abhängig von der Zeit, die nach Applikation der früheren Dosis verflossen ist. Geschehen die folgenden Bestrahlungen zu früh, wird in die negative Phase bestrahlt, so wird der Effekt eventuell ein entgegengesetzter sein. So sehen wir auch, daß, wenn auf den Organismus ständig kleinste Dosen einwirken, wie es hauptsächlich bei denjenigen Personen der Fall sein kann, die beruflich viel mit Röntgen- und Radiumstrahlen zu tun haben, sich schließlich die Effekte in der Weise summieren, als würde eine einmalige sehr starke Bestrahlung gegeben. Hierfür bietet ein gutes Beispiel Kurve 3, die der Arbeit von Siegel entnommen ist. v. Jagic, Schwarz und v. Siebenrock (89) fanden bei Radiologen eine erhebliche Reduktion der neutrophilen Leukozyten und ein Vorwiegen der Lymphozyten. Mottram (90) untersuchte das Blut bei Radiumarbeitern. Er sah eine Abnahme sowohl der polymorphkernigen Leukozyten wie der Lymphozyten. Die niedrigsten Werte betrugen für die ersteren 522 und 1035 pro cmm, für letztere 706 und 855 pro cmm. Auch in den Beobachtungen Mottrams prägte sich der günstige Effekt eines Erholungsurlaubs von 2 Monaten Dauer sehr deutlich aus:

	Vor dem Urlaub	Nach dem Urlaub	1 Monat nach Urlaubsende
Polymorph. Leukozyten .	522	1909	1063
Lymphozyten	855	2158	857

Außerordentlich radiosensibel sind von den Blutelementen ferner die Blutplättchen, worauf Hermann Freund und Dresel (91) hingewiesen haben. Cramer, Drew und Mottram (92) sahen einen mächtigen Zerfall der Blutplättchen, allerdings nach Anwendung sehr starker Dosen. Sie bestrahlten Ratten ununterbrochen 5, 7, 13 Tage lang mit 220 mg Radiumbromid in einem Abstand von 20 cm unter Anwendung von Filtern von 0,1 mm Blei und 0,12 mm Silber.

Auf den Zerfall der Blutplättchen ist meines Erachtens die ausgesprochene Herabsetzung der Gerinnungszeit des Blutes, die van den Velden (93) beim Menschen nach Aufenthalt im Emanatorium oder nach Aufnahme von radioaktivem Wasser schon nach wenigen Minuten konstatierte, zurückzuführen. Kohorn (94) bestätigte diese Ergebnisse für den Aufenthalt im Emanatorium; nach Injektionen von 500 E.-S.-E. von Thorium X subkutan stieg jedoch die Gerinnungszeit an. Versuche am Hunde ergaben das gleiche Resultat. Auch bei Kaninchen beobachteten Salle und v. Domarus (95) Gerinnungsverzögerung des Blutes durch Thorium X-Injektionen, während Grineff (96) nach wiederholten Injektionen wiederum Gerinnungsbeschleunigung konstatierte.

Auf den Zerfall der Blutplättchen und Freiwerden von Thrombokinase ist ferner meines Erachtens die blutstillende Wirkung zurückzuführen, die Stephan (97) durch Röntgenbestrahlung der Milz mit „Reizdosen" erreicht hat. Versuche, die zur Zeit auf der Klinik des Herrn Geheimrat Seitz von Guthmann und mir ausgeführt werden, haben unsere Annahme bestätigt, daß sich dieser Effekt auch durch einmalige kurze Bestrahlung des Gesamtkörpers erreichen läßt. Es ist wohl kaum daran zu zweifeln, daß man die gleiche Wirkung auch durch geeignete Emanationsbehandlung hervorrufen könnte. Doch ist mir nicht bekannt, daß therapeutische Versuche in dieser Richtung vorgenommen worden sind, obgleich van den Velden eine sehr erhebliche Herabsetzung der Gerinnungszeit auch bei einer an Hämophilie leidenden Frau nach Emanationsbehandlung festgestellt hat.

Wesentlich resistenter gegen die Strahlen erweisen sich die roten Blutkörperchen. Um die roten Blutkörperchen zu schädigen, gehören recht erhebliche Dosen. Die ersten Beobachtungen dieser Art liegen von Henri und Mayer (98) vor. Die Autoren versenkten Radiumröhrchen in Hämoglobinlösungen aus Hunde- und Froschblut und beobachteten nach 3 Stunden Bräunung, die durch Methämoglobinbildung verursacht war. Auch stellten sie fest, daß die Permeabilität der Erythrozyten auf diese Weise verändert wird; die roten Blutkörperchen des Hundes gaben Hämoglobin und Salze an Lösungen ab, in denen unbestrahlte Blutkörperchen intakt blieben, und gaben auch an hypotonische Lösungen mehr von diesen Substanzen ab als normale Blutkörperchen (99). Salomonsen und Dreyer (100) wiesen zuerst komplette Hämolyse von Blutkörperchen im Blute nach, das sie im hängenden Tropfen unter Glimmer- oder Quarzplättchen mit 50 mg Radiumbromid bestrahlten. Die Resistenz der Erythrozyten war bei den verschiedenen Tierarten verschieden stark. Mäuseblut wurde nach 3—4 Stunden komplett hämolysiert, während Blut von Kaninchen und Menschen die 3—4fache Zeit bestrahlt werden mußte, um den gleichen Effekt zu erreichen. Schwarz und Zehner (22) arbeiteten an Hammelblutkörperchenaufschwemmung mit einer Thorium X-Lösung, die 2000000 M. E. entsprach. Es trat komplette Hämolyse ein, aber erst nach 20 Stunden.

Hirschfeld und Meidner (68) haben Versuche angestellt über die Einwirkung von Thorium X-Injektionen bei Kaninchen. Sie bestätigen bezüglich der Hämolyse die Ergebnisse von Schwarz und Zehner, Methämoglobinbildung konnten sie jedoch nur im Reagenzglasversuch feststellen. Einen Unterschied zwischen den verschiedenen Tierarten hinsichtlich der hämolysierenden Wirkung gleicher Strahlenmengen auf rote Blutkörperchen beobachtete

v. Knaffl-Lenz (20). Er fand, daß radioaktive Emanation hämolytisch auf Meerschweinchenblutkörperchen wirkte, aber nicht auf solche des Kaninchens.

Hausmann, der zunächst die Ansicht vertrat (101), daß die hämolysierende Wirkung nur von den α- und β-Strahlen ausgelöst wird, konnte in späteren Versuchen in Gemeinschaft mit Kerl (102) nachweisen, daß dieser Effekt auch durch γ-Strahlung hervorgerufen wird.

Hinsichtlich der Einwirkung auf die Zahl der Erythrozyten und den Hämoglobingehalt unter dem Einfuß der Strahlung liegen umfangreiche Versuche von Brill und Zehner (103) vor. Diese injizierten Radiumsalz bei Hunden und Kaninchen subkutan und fanden nach Injektionen von 25—380 E.-S.-E. außerordentlich hohe Hyperglobulien. Die Zahl der roten Blutkörperchen stieg von 5,4 Millionen auf 7,2 Millionen und von 6,5 auf 8,3 Millionen pro cmm. Diese Wirkung hält wochenlang an und klingt dann allmählich ab. Hirschfeld und Meidner (68) stellten in ihren Versuchen mit Thorium X an Kaninchen bei Einspritzung einer Dosis äquivalent 0,1 mg Radiumbromid ein Sinken des Hämoglobingehaltes in 5 Tagen von 90% auf 60% fest, 5 Tage später war das Niveau von 90% wieder erreicht. Bei höheren Dosen hatten sie noch stärkere Beeinflussung, so nach einer Einspritzung von Thorium X äquivalent 0,69 mg Radiumbromid in 11 Tagen einen Abfall des Hämoglobingehaltes von 80% auf 50%. Dabei war auch die Zahl der roten Blutkörperchen beträchtlich gesunken, von 4980000 auf 2300000.

Von therapeutischen Dosen im Emanatorium sahen Falta und seine Mitarbeiter (2) keinen deutlichen Einfluß auf die roten Blutkörperchen. Auch Loewy und Plesch (104) vermißten beim Menschen den Einfluß eines 1¼stündigen Aufenthaltes im Emanatorium mit 20000 M. E. auf Hämoglobingehalt und Sauerstoffkapazität des Blutes. Hingegen beobachtete Siegel (72) bei den Dosen, die bei der gynäkologischen Tiefenbestrahlung mit Röntgen-, Radium- und Mesothoriumstrahlen verwandt werden, nach jeder Bestrahlung, gleichgültig in welcher Form sie gegeben wurde, ein Ansteigen des Hämoglobingehaltes wie der Erythrozyten. Ähnliches sahen Plesch sowohl als auch Falta bei Injektionen von Thorium X bei schweren Anämien, und ebenso Lazarus (105), der Aktinium verwandte. Es scheint sich also zu ergeben, daß kleine Dosen beim gesunden Menschen und Tier ohne wesentliche Einwirkung sind, größere bewirken Anstieg von Hämoglobinwerten und Zahl der roten Blutkörperchen, noch größere führen schließlich zu sehr erheblichem Abfall.

Der Unterschied der Radiosensibilität zwischen Leukozyten und Erythrozyten spricht sich sehr deutlich darin aus, daß Dosen die Erythrozytenzahl noch vermehrten, die bereits zu schweren Leukopenien führten.

Was die Wirkung eines dauernden Einflusses der Strahlen auf den Gehalt an roten Blutkörperchen anbetrifft, so erwähnen v. Noorden und Falta (65), daß bei Personen, die sich berufsmäßig lange Zeit mit Emanation beschäftigen, eine Hyperglobulie bestanden habe. Andererseits wissen wir jedoch, daß es schließlich auch hier zu schweren Anämien kommen kann. So sahen denn auch Aubertin und Delamare (75) nach wiederholten Bestrahlungen mit Radium bei weißen Mäusen eine zuweilen erhebliche Verminderung der Zahl der roten Blutkörperchen.

Auch Mottram (90) konstatierte bei Radiumarbeitern zuweilen eine Verminderung der roten Blutkörperchen bis zur Zahl von ca. 3000000. Der Hämoglobingehalt war konstanter, so daß der Färbeindex stieg. Es wurden 3 Fälle von schwerer Anämie beobachtet, die einen tötlichen Verlauf nahmen.

Überblicken wir nochmals die Wirkung der verschiedenen Strahlenarten auf die Körpergewebe, so sehen wir eine deutlich verschiedene Radiosensibilität einzelner Organe, verschiedene Radiosensibilität verschiedener Zellgruppen in denselben Organen und wechselnde

Radiosensibilität desselben Organs in verschiedenen Entwicklungsstufen. Die Erfahrungen auf diesem Gebiete sprechen durchaus in dem Sinne, daß die Skala der Strahlenempfindlichkeit die gleiche ist, ob wir die strahlende Energie in Form von Röntgenstrahlen oder in einer Form der radioaktiven Substanzen einwirken lassen.

Gesetz von Bergonnié und Tribondeau.

Diese verschiedene Radiosensibilität haben Bergonnié und Tribondeau (106) für die Röntgenstrahlen in eine Formel gebracht, und man hat später dieses „Gesetz" auf die radioaktiven Substanzen übertragen. Das Gesetz von Bergonnié und Tribondeau über die verschiedene Radiosensibilität oder, wie die Autoren es ausdrücken, elektive Strahlenwirkung ist in unzähligen Arbeiten der Strahlentherapie zitiert worden. Dennoch wird es zuweilen noch mißverstanden. wie z. B. aus einer Arbeit von Voltz (107) hervorgeht. Es scheint mir daher nötig, dieses Gesetz im Originaltext zu geben und mit einigen Worten zu erläutern.

Es lautet: „Les rayons X agissent avec d'autant plus d'intensité sur les cellules que l'activité réproductrice de ces cellules est plus grande, que leur devenir karyokinétique est plus long et leurs fonctions sont moins définitivement fixées."

Daß die Zellen mit hoher reproduktiver Kraft strahlenempfindlicher sind als andere, spricht sich aus in der starken Radiosensibilität der Keimzellen, der Zellen der Epidermis, Haarfollikel und der Darmepithelien und der Zellen des hämatopoetischen Apparates. Ebenso in der hohen Empfindlichkeit der bösartigen Tumoren in ihrer Abhängigkeit von der Malignität. Der dritte Satz, daß Zellen um so empfindlicher sind, je weniger ihre Funktion festgelegt ist, soll zum Ausdruck bringen, daß undifferenzierte Zellen, wie Leukozyten, Lymphozyten, Bindegewebszellen, wesentlich empfindlicher sind als die in ihrer Funktion stark differenzierten Zellen, wie Muskelzellen, Nervenzellen und auch die Parenchymzellen der Organe. Auch die Zellen der bösartigen Tumoren sind zu den undifferenzierten Zellen zu rechnen. und zwar um so mehr, je mehr die ursprüngliche Funktion des Ausgangsorgans aufgehoben ist.

Am meisten Schwierigkeit dem Verständnis bietet der zweite Satz, daß die Zellen um so radiosensibler seien, je länger ihr karyokinetischer Werdegang ist. Er ist darauf zurückzuführen, daß Bergonnié und Tribondeau ausgingen von Untersuchungen der Einwirkung der Röntgenstrahlen auf die Hoden von Ratten (40). Hier fanden sie zuerst die Unterschiede zwischen den eigentlichen Samenzellen und den Sertolischen Zellen. Da nun die Spermatozoen unter ständiger Karyokinese einen längeren Entwicklungsgang durchmachen, so wollten die Autoren augenscheinlich noch einen weiteren Grund für die Empfindlichkeit der Spermazellen hinzufügen.

Meines Erachtens ist dieser Passus des Gesetzes absolut unnötig. Der lange karyokinetische Werdegang bedeutet ja im wesentlichen nur die Reduktionsteilung der Keimzellen, bei der aus der diploiden Körperzelle die haploide Fortpflanzungszelle wird. Die hohe Empfindlichkeit dieser Zellen aber wird schon genügend durch den ersten Teil des Gesetzes erklärt.

In anderer Hinsicht scheint mir jedoch das „Gesetz" den festgestellten Tatsachen nicht ausreichend zu entsprechen. Es gibt nämlich keinen Anhaltspunkt für die den beiden Forschern damals auch noch gar nicht bekannte Tatsache von der ganz besonders starken Empfindlichkeit der farblosen Elemente des Blutes und der hämopoetischen Organe sowie der Blutplättchen.

Ich glaube, die Erklärung für die hohe Strahlenempfindlichkeit der letztgenannten Zellen ist darin zu suchen, daß hier überhaupt keine spezifische Radiosensibilität vorliegt. Unter-

suchungen auf den verschiedensten Gebieten der Physiologie und Pathologie zeigen immer deutlicher, daß der leichte Zerfall durch die mannigfaltigsten Einflüsse eine Grundeigenschaft dieser Elemente ist. Und zwar ist dies, wie ich glaube, eine Eigenschaft von hoher physiologischer und therapeutischer Bedeutung. Die freiwerdenden „Zellzerfallshormone" sind es, die das natürliche unspezifische Heilmittel des Körpers gegen allerlei Insulte infektiöser und nicht infektiöser Natur darstellen. In solcher Weise wirken künstliche Überhitzung und Fieber, parenteral eingeführtes artfremdes Eiweiß, Protoplasmagifte mancherlei Art und strahlende Energie. Kurz, es handelt sich um die Vorgänge, die Weichhardt als Leistungssteigerung oder Protoplasmaaktivierung bezeichnet hat, und die der Proteinkörpertherapie und unspezifischen Immunität zugrunde liegen. Ähnliche Vorstellungen in bezug auf die Wirksamkeit des Radiums in der Therapie hat bereits Lazarus (108) angedeutet.

Das Gesetz von Bergonnié und Tribondeau bedeutet ja aber nichts anderes als eine kurze Zusammenfassung der Tatsachen. Es gibt keine Erklärung. Eine solche hat man zunächst zu geben versucht, indem man die Schwarzsche Lezithinhypothese (16) verwandte. Danach wäre also eine Zelle oder Zellart um so empfindlicher, je höher ihr Lezithingehalt ist.

Wir hatten oben gesehen, daß die Lezithinhypothese chemisch zum mindesten auf recht schwachen Füßen steht. Daß sie biologisch unzutreffend ist, wird eigentlich schon zur Genüge dargetan durch das, was wir oben über die verschiedene Radiosensibilität der Gewebe und Zellarten ausgeführt haben. Die hohe Sensibilität der Keimdrüsen könnte allerdings in ihrem Lezithingehalt begründet sein. Schon sehr zweifelhaft ist dies bei den bösartigen Tumoren, bei denen ein hoher Lezithingehalt nach den Untersuchungen von Bossart (109) nur bei jugendlichen Neubildungen vorhanden zu sein scheint. Die lezithinreichsten Gewebe aber, das Nervensystem, haben wir in allen Teilen als wenig radiosensibel kennen gelernt. Vollends scheint mir die Lezithinhypothese widerlegt zu sein durch die Versuche und Feststellungen von Oskar Hertwig und seinen Mitarbeitern Paula und Günther Hertwig (110). Bei der hohen Wichtigkeit, die diesen Untersuchungen für die Erkenntnis der biologischen Wirkung der Radioaktivität überhaupt zukommt, muß auf sie etwas näher eingegangen werden.

Schon vor den Hertwigschen Untersuchungen hatten eine ganze Reihe von Autoren erkannt, daß die keimenden Zellen von Pflanzen und Tieren besonders günstige Objekte zum Studium des Vorganges der Strahlenbeeinflussung auf lebende Substanzen darstellen. Es seien hier genannt von den Pflanzenphysiologen Körnicke (111) und Guilleminot (112). An tierischen Eiern machte wohl zuerst Bohn (113) Versuche, und zwar an Eiern von Strongylocentrotus lividus und an Froscheiern, Schaper (114) an Eiern von Rana fusca und Perthes (115) an den Eiern von Ascaris megalocephala. Schon diese Autoren sprechen durchgängig die Ansicht aus, daß die Kernsubstanzen, namentlich das Chromatin, besonders empfindlich gegen die Radiumstrahlen sind. Paula Hertwig (116) nahm die Versuche von Perthes wieder auf und studierte die Einwirkung von Radiumbestrahlungen verschiedener Stärke und Dauer auf die Kernteilungsfiguren befruchteter Eier von Ascaris megalocephala.

Als Folge der Bestrahlung junger Embryonalstadien sahen bereits Bohn bei Froscheiern, Schaper sowie Bardeen (117) bei Bestrahlung von Kröteneiern, Tur (118) bei Hühnereiern, daß, wenn die Intensität der Einwirkung noch eine Entwicklung der Embryonen zuließ, Mißbildungen der Larven oder Embryonen entstanden, die gleichfalls von Hertwig und seinen Mitarbeitern genauer studiert und als „Radiumkrankheit" bezeichnet worden sind. Aus der Abhandlung von O. Hertwig in Lazarus' Handbuch sei eines der sehr instruktiven Bilder von radiumkranken Kaulquappen hier wiedergegeben. Auch bei Säugetieren ist bereits ähnliches beobachtet worden. Bagg (54) bestrahlte tragende Ratten gegen Ende der Gravidität

mit γ-Strahlen in einer Dosis von 1300—2900 Millicuries-Stunden. Etwa die Hälfte des Wurfes zeigte bei der Geburt schwere Störungen, die bald zum Tode führten. Die andere Hälfte der jungen Tiere blieb jedoch am Leben und wuchs zu normaler Größe heran. Die Jungen zeigten aber Augendefekte, wie Reduktion des Augapfels, Fehlen der Retina, Optikusatrophie usw., Störungen der Hirnentwicklung bis zu völligem Fehlen der Hirnrinde, Atrophie von Hoden, Nebenhoden und Eierstöcken.

Für unsere Frage hier von besonderer Wichtigkeit sind nun diejenigen Versuche, bei denen nicht allein, wie bei den älteren Autoren, das bereits befruchtete Ei bestrahlt wurde, sondern Ei und Samenfaden gesondert vor der Befruchtung. Diese Versuche von O. und G. Hertwig sind an den Ei- und Samenzellen von Seeigeln, Rana fusca und Rana viridis ausgeführt worden. Es ergab sich folgendes: Wurden beide Komponenten, Eizelle und Samenzelle, vor der Befruchtung bestrahlt, so waren die Veränderungen dieselben, wie wenn das Ei mit der gleichen Dosis nach der Befruchtung bestrahlt wurde. Wurde dagegen nur das Ei oder nur der Samenfaden vor der Befruchtung bestrahlt, so war die schädliche Wirkung erheblich geringer. Sie war jedoch in beiden Versuchsreihen, natürlich gleiche Dosierung vorausgesetzt, völlig identisch.

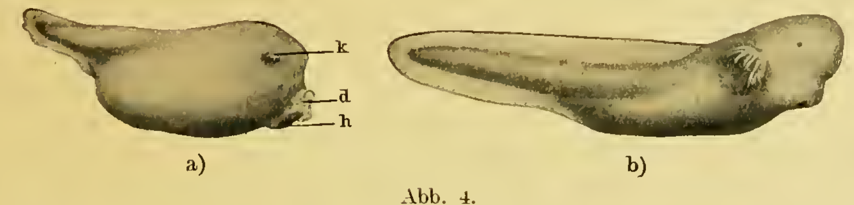


Abb. 4.
a) Sechs Tage alte Radiumlarve, entstanden aus einem Ei, das nach beendeter Zweiteilung 15 Minuten mit einem sehr schwachen Radiumpräparat von 2,0 mg Aktivität bestrahlt wurde. Starke Bauchwassersucht. Oberhalb der Haftnäpfe am Kopf mehrere Dotterbrocken, die während der Gastrulation ausgestoßen worden sind. d = ausgestoßene Dottermasse, welche dem Kopf aufliegt. h = Haftnapf. k = rudimentäre Kiemenhöckerchen. b) Zu dem Versuch gehörige, gleichfalls sechs Tage alte normale Kontrollarve mit reich entwickelten großen Kiemenbüscheln. (Nach O. Hertwig.)

Auf Grund dieser Ergebnisse wendet sich O. Hertwig (119) mit Nachdruck gegen die Lezithinhypothese. Denn das Spermatozoon enthält gegenüber der Eizelle nur geradezu winzige Mengen Lezithin, und die Schädigungen müßten daher viel größer sein bei gesonderter Bestrahlung der Eizelle als bei gesonderter Bestrahlung des Spermatozoons, wenn dem Lezithin eine entscheidende Bedeutung zukäme.

All die zahlreichen Versuche weisen vielmehr durchaus darauf hin, daß es die Kernsubstanz ist, an welche die strahlende Energie des Radiums (und der Röntgenstrahlen) angreift. Denn allein die Kernsubstanz ist in beiden Keimzellen in gleicher Weise vorhanden und nur deren Schädigung kann den gleichen Effekt auslösen, wenn eine der beiden gleichwertigen Komponenten der Befruchtung einzeln bestrahlt wird. Dies deckt sich auch vollkommen mit den oben erwähnten Resultaten der Untersuchung befruchteter Eier.

Im gleichen Sinne spricht auch ein weiterer sehr bemerkenswerter Versuch von O. u. G. Hertwig. Wird ein Seeigelspermatozoon intensiv bestrahlt, so tritt eine starke Schädigung ein, die Bewegung jedoch bleibt erhalten, so daß der Samenfaden befähigt bleibt, in die Eizelle einzudringen. Dagegen beteiligte ein so intensiv bestrahlter Spermakern sich nach dem Eindringen in das Ei nicht mehr an der Chromosomenbildung, sondern blieb abseits von dem Eikern im Eiplasma als kompakter

Körper liegen. Der Eihalbkern aber wanderte wie bei der normalen Befruchtung auf den Spermahalbkern zu und teilte sich dann ganz regelrecht unter Ausbildung normaler Chromosomen. Es ist in diesem Falle verständlich, daß die Schädigung für die Entwicklung des Eies geringer war, als wenn eine geringere Bestrahlung des Samenfadens vorgenommen worden war, bei der der geschädigte Samenfaden sich noch an den Teilungsvorgängen beteiligte.

Eine solche parthenogenetische Entwicklung des mit einem durch Bestrahlung schwer geschädigten Spermatozoon befruchteten Eies wurde auch bei höherstehenden Tieren bereits erreicht, so von Oppermann (120) an Forelleneiern.

Durch geringe Dosen strahlender Energie kann auch auf befruchtete tierische Eier eine Reizwirkung ausgeübt werden (Haecker und Lebedinsky, 121).

Die Erkenntnis, daß der Zellkern der Angriffsort der Strahlenwirkung ist, in Verbindung mit den Erfahrungen der Schädigung des Furchungsvorgangs bei befruchteten Eiern und der außerordentlichen Empfindlichkeit keimenden Pflanzensamens im Vergleich zu ruhendem (Körnicke, Guilleminot, Petry 122 u. a.), legte den Gedanken nahe, daß der Kern gerade im Stadium der Furchung sich durch besonders hohe Sensibilität gegen Strahlenwirkung auszeichnet. Lehrreich sind in dieser Beziehung die Versuche von Grasnick (38). Dieser tötete Larven von Rana fusca und Axolotl unmittelbar nach $1^1/_2$stündiger Bestrahlung mit 25 mg Mesothorium. Er fand, daß die Zellkerne in oder unmittelbar vor der Mitose am meisten geschädigt waren. In diesen Fällen konstatierte er Verdickung und Verklebung der Chromosomen; nach einigen Stunden trat Kernpyknose auf. Besonders wirksam erwiesen sich die γ-Strahlen. Nach einer gewissen Zeit nach der Bestrahlung zeigten sich übrigens neue Mitosen, was auf eine erhebliche Widerstandsfähigkeit der zur Zeit der Bestrahlung ruhenden Kerne hinweist. Damit wäre dann auch vieles, was wir über die wechselnde Radiosensibilität einzelner Organe, Organteile und Zellen kennengelernt haben, in recht befriedigender Weise erklärt: die hohe Radiosensibilität der Keimdrüsen, der Epidermis und Follikelzellen der Haut, der Darmepithelien, des embryonalen Hirns, besonders im Vergleiche zu dem Hirne ausgewachsener Tiere, die Strahlenempfindlichkeit bösartiger Tumoren in ihrer Abhängigkeit von ihrer Wuchsenergie. Holthusen (123) hat nun in der Tat den experimentellen Nachweis erbracht, daß während der Zellteilung eine erhebliche Steigerung der Empfindlichkeit einer Zelle besteht, daß diese aber nicht gleichmäßig über den ganzen Teilungsvorgang verbreitet ist, sondern sich auf gewisse Stadien der Mitese beschränkt.

Mit diesen Feststellungen scheint mir die Frage der unterschiedlichen Radiosensibilität auf ihren wahren Grund zurückgeführt zu sein. Erklärt ist sie noch nicht. Die Erklärung wird erst dann möglich sein, wenn wir über die Zustandsänderungen der Kernsubstanz in den empfindlichen Stadien der Mitose genauer unterrichtet sein werden. Einen erheblichen Schritt vorwärts in der Erkenntnis bedeuten, wie ich glaube, die physikalischen Feststellungen und Hypothesen von Dessauer im Verein mit den bisherigen Erfahrungen über die Nekro- bzw. Zellzerfallshormone. Hierauf soll am Schluß dieser Abhandlung kurz eingegangen werden.

Latenzzeit.

Die Versuche, welche uns lehrten, daß es der Zellkern ist, der in erster Linie von der strahlenden Energie geschädigt wird (natürlich nicht immer ausschließlich, stärkere Dosen greifen auch das Protoplasma an), führten sehr bald zu weiteren Entdeckungen, die vor allem über ein bisher sehr rätselhaftes Phänomen Klarheit brachten. Dies

Phänomen ist die Latenzzeit, die zwischen der Schädigung einer radiosensiblen Zelle und dem Effekt vergeht. Die Latenzzeit zwischen Einwirkung und Auswirkung war ja zuerst an der Haut beobachtet worden und hatte zu manchen Deutungsversuchen geführt. Besonders evident war sie, als man die Wirkung intensiver Bestrahlung auf maligne Tumoren kennen gelernt hatte. Hier zeigt sich, daß erst nach etwa 3 Wochen die Einwirkung der Bestrahlung sich bemerkbar macht. Besonders bei manchen strahlenempfindlichen Sarkomen beobachtet man, daß, während zunächst gar keine Wirkung der Bestrahlung augenscheinlich wird — eher vielleicht eine Wachstumsanregung —, nach Ablauf der Latenzperiode der Tumor unter Umständen plötzlich verschwindet.

Ehrlich (124) hat zuerst auseinandergesetzt, daß es zur Ausschaltung einer für den Organismus schädlichen Zelle genügt, wenn man ihren Fortpflanzungsapparat, die Genozeptoren, vernichtet. Denn die Lebensdauer solcher Zellen ist so beschränkt, daß, wenn nicht durch Teilung neue entstehen können, sie durch Abnutzung oder im Kampf gegen den Organismus bald zugrunde gehen müssen. Halberstaedter (125) hat nun nachgewiesen, daß die radioaktiven Substanzen und Röntgenstrahlen in der Weise auf Trypanosomen wirken, daß diese zwar noch gut beweglich sind, aber ihre Regenerationsfähigkeit verloren haben. Sie können daher noch längere Zeit im Blute kreisen, sind aber nicht mehr infektiös. Besonders überzeugend sind ferner die Versuche von A. v. Wassermann (126). Wassermann hat als erster erkannt, daß die experimentelle Tumorforschung uns ein vorzügliches Reagens geschaffen hat zur Entscheidung der mannigfaltigsten Fragen der Zellproliferation. Er bestrahlte Mäusekarzinome in vitro 3 Stunden lang mit 55 mg Mesothorium. Nach dieser Bestrahlung gingen die Tumoren nicht mehr an, die Zellen hatten also ihre Fortpflanzungsfähigkeit verloren. Dagegen waren die Zellen noch am Leben, wie Wassermann mittels der Methode von Neisser und Wechsberg (127) nachwies[1]). Diese Autoren benutzten die Reduktion einer Methylenblaulösung unter Luftabschluß zum Nachweis des Lebens von Leukozyten. v. Wassermann deutet das Ergebnis seiner Versuche dahin, daß durch die Radiumstrahlen die Krebszellen nicht abgetötet, wohl aber in ihrer Fortpflanzung gehemmt sind oder nach dem von Ehrlich gewählten Ausdrucke: die Nutrizeptoren bleiben erhalten, die Genozeptoren aber werden vernichtet. Die Ergebnisse der Versuche von Halberstaedter sowohl wie von Wassermann sind dann wohl zuerst von Heinecke (128) in sehr überzeugender Weise zur Erklärung der erwähnten Latenz der Wirkung radioaktiver Strahlung benutzt worden. Die an ihrem Genozeptorenapparat geschädigten Trypanosomen kreisen anscheinend unverändert im Blute. Sie können sich aber nicht fortpflanzen und nach dem Absterben dieser Generation tritt die Heilwirkung der Bestrahlung erst in Erscheinung. Ebenso liegen nach v. Wassermann die Verhältnisse bei der Tumorbestrahlung. Der Tumor besteht zunächst weiter, da die Zellen am Leben bleiben. Mit dem Absterben der in ihrem Genozeptorenapparat geschädigten Tumorzellen wurde die Wirkung der Bestrahlung manifest.

Es ist nicht schwer, diese Erkenntnis z. B. auf die Vorgänge bei der Bestrahlung der Haut zu übertragen, und ich glaube, daß der zuerst so rätselhaft erscheinende Vorgang der Latenzzeit auf diese Weise eine vollkommen plausible und befriedigende Erklärung gefunden hat.

[1]) Es darf allerdings nicht verschwiegen werden, daß v. Wassermann bei seinen Feststellungen sehr vom Glück begünstigt gewesen ist. Eine solche Bestrahlung, wie sie v. W. vorgenommen hat, ist sicher nicht ausreichend, um alle Karzinomzellen eines Tumors ihrer Genozeptoren zu berauben. Der Wassermannsche Befund ist trotzdem im Prinzip unzweifelhaft richtig, allerdings nur für einen mehr oder weniger großen Anteil der bestrahlten Zellen zutreffend.

Daß übrigens die Folgerungen Wassermanns, die ja vielfach angegriffen worden sind, im Prinzip zu Recht bestehen, haben Versuche von Prime (129) für Radium, von Prime und Wood (130) für Röntgenstrahlen ergeben. Diese Autoren untersuchten die Wirkung der Bestrahlung auf Tumorzellen in Gewebskulturen und stellten fest, daß die Bewegung der Zellen in den bestrahlten Tumorkulturen unverändert erhalten blieb, Mitosen jedoch waren außerordentlich selten, während sie sich in den Kontrollversuchen reichlich fanden. Es sei hier auch daran erinnert, wie gut diese Befunde mit den Beobachtungen an Spermatozoen übereinstimmen, die ihre Beweglichkeit voll behalten, während der Spermakern derart geschädigt ist, daß er an der Befruchtung nicht mehr teilnimmt.

Einwirkung auf Bakterien.

Mit der Schädigung des Zellkerns hängen wohl auch die Einwirkungen zusammen, die durch die radioaktiven Substanzen bei einzelligen Lebewesen beobachtet worden sind. Es ist verständlich, daß hier das Interesse sich zuerst und vornehmlich der Einwirkung der Strahlung auf die Bakterien zuwandte. Die ersten eingehenden systematischen Untersuchungen auf diesem Gebiete wurden von Aschkinass und mir (131) mitgeteilt. Wir konnten zunächst feststellen, daß Kulturen von Prodigiosus durch Bestrahlung mit Radiumbariumbromid in ihrem Wachstum gehemmt wurden, und zwar wiesen wir durch sorgfältige Erwägung und Ausschaltung aller möglichen Fehlerquellen nach, daß diese Wirkung der radioaktiven Strahlung zukam.

Die späteren Autoren, die bereits mit stärkeren Präparaten arbeiteten, konnten auch naturgemäß intensivere Wirkungen erzielen. So ist, soweit ich sehen kann, Pfeiffer und Friedberger (132) zuerst die vollkommene Vernichtung von Choleravibrionen und auch der resistenteren Milzbrandsporen geglückt. Danysz (133) konnte Wachstumshemmung bei zahlreichen pathogenen und nichtpathogenen Bakterien hervorrufen, völlige Sterilisierung glückte ihm nur bei einigen, so bei den Milzbrandbazillen. Ähnliche Resultate wie Pfeiffer und Friedberger erzielte Hoffmann (134); Scholtz (135) gelang die völlige Abtötung von Typhusbazillen und Staphylokokken.

Aschkinass und ich hatten von Anwendung radioaktiver Emanation keine Wirkung auf Bakterien gesehen. Doch handelt es sich auch hier um quantitative Verhältnisse. Wachstumshemmende Wirkungen wurden beobachtet von Danysz, von Goldberg (136) und von Dorn, Baumann und Valentiner (137). Vollkommene Abtötung mittels Emanation ist Jansen (138) beim Prodigiosus gelungen. Doch gehörten dazu recht erhebliche Dosen und lange Dauer der Einwirkung. Auch mit den natürlichen emanationshaltigen Wässern konnte eine Beeinträchtigung des Wachstums von Bakterien erreicht werden (Kalmann, 139).

Schon aus dem bisher Gesagten ergibt sich, daß verschiedene Bakterien- und Kokkenarten eine verschiedene Empfindlichkeit gegen die Einwirkung radioaktiver Substanzen besitzen. Besonders deutlich geht dies hervor aus Versuchen von Straßmann (32), von Werner (140), von Mme. und G. Fabre (141) und von Kuznitzky (142). Besonders resistent erwies sich auch diesen Einflüssen gegenüber der Tuberkelbazillus (Sueß, 143, Max Wolff, 144). Immerhin konnte Ghilarducci (145) nachweisen, daß bei Überimpfung bestrahlter Tuberkelbazillen auf Meerschweinchen eine Abschwächung der Virulenz vorhanden ist.

Auch bei Bakterienkulturen ergibt sich die größere Radiosensibilität junger Kulturen gegenüber älteren. Auch hier zeigt sich also die Empfindlichkeit um so größer, je kräftiger die Wuchsenergie ist (Werner, 140, Cluzet, Rochaix und Kofman, 146).

Die Versuche an Bakterien lassen ferner keinen Zweifel, daß nicht nur das Wachstum gehemmt wird, sondern auch die übrigen Lebensfunktionen beeinträchtigt werden können. So die

Farbbildung bei Prodigiosus und anderen chromogenen Bakterien (Aschkinass und Caspari, Bouchard und Balthazard 147), die Abnahme des Leuchtvermögens bei Leuchtbakterien (Körnicke, 148, Omeliansky, 149), die Herabsetzung der Säurebildung von Gonokokken durch Thorium X (Kuznitzky).

Wichtig erscheint mir die Kombinationswirkung, die der letztere Autor für Thorium X mit anderen Desinfektionsmitteln (Protargol usw.) nachgewiesen hat. Es ergab sich, daß an sich unwirksame Konzentrationen im Gemisch gut sterilisierend wirkten.

Besonders eingehend hat auch Stoklasa (150) sich mit der Einwirkung der radioaktiven Emanation auf Bakterien beschäftigt. Die Arbeiten dieses Autors sind deswegen vor allem wertvoll, weil in ihnen in besonders exakter Weise die quantitativen Verhältnisse berücksichtigt werden. Stoklasa wählte zu seinen Versuchen verschiedene Formen von Bakterien, nämlich 1. solche, die den Stickstoff der Luft assimilieren und in organische Form überführen wie Azotobacter chroococcum, 2. solche, die stickstoffhaltige organische Substanzen zersetzen und als Endprodukt NH_3 bilden, wie Proteus vulgaris usw., 3. solche, die salpetrige Säure zu elementarem Stickstoff abbauen. Hervorzuheben ist aus seinen Ergebnissen, daß geringe Emanationsdosen von 9—20 M. E. pro Liter Luft ungemein günstig wirkten auf die elementaren, Stickstoff assimilierenden Bakterien und auch auf die Stickstoffanreicherung des Bodens.

Die bakterienhemmende Eigenschaft der Radiumstrahlen in größeren Dosen legte nahe, zu versuchen, ob sie für die Bekämpfung der Infektionskrankheiten in Betracht kommen könnte.

Die ersten diesbezüglichen Arbeiten wurden von Aschkinass und mir (151) ausgeführt. Ihr Ergebnis war nicht sehr befriedigend. Wir verwandten teils Bestrahlung mit einem Präparat von 10 mg Radiumbromid, teils wurden Einspritzungen mit löslichen und unlöslichen Radiumsalzen benutzt. Bei lokaler Diphtherie von Meerschweinchen zeigte sich eine schwache und nicht eindeutige Wirkung. Auch Versuche an Milzbrand bei Kaninchen gaben nicht sehr ermunternde Resultate. In diesen Versuchen wurde Radiumbariumbromid, in einigen Fällen auch reines Radiumbromid intravenös verabreicht. Es stellte sich dabei die schwere Giftigkeit dieser Substanzen heraus. Relativ am günstigsten waren noch die Versuchsergebnisse bei Haut- und Drüsentuberkulose an Meerschweinchen. Hier konnte wenigstens eine gewisse Retardierung des Krankheitsprozesses festgestellt werden. Eine Heilung wurde jedoch nie erreicht, und selbst dann, wenn der lokale Prozeß beseitigt wurde, konnte die Entstehung einer allgemeinen Tuberkulose nicht verhindert werden.

Günstigere Resultate hatten Flemming und Krusius (152) mit Perlsuchtbazillen, die sie Kaninchen in die vordere Augenkammer oder intrakorneal injizierten. Aber auch hier wurde nur eine Verzögerung des Krankheitsprozesses erreicht. Über völlig negative Versuche mit Bestrahlung bei Drüsen- und Augentuberkulose von Meerschweinchen und Kaninchen hat Max Wolff (153) berichtet.

Man darf also wohl zusammenfassend sagen, daß zwar theoretisch auch im Tierkörper eine infektionshemmende Wirkung vorhanden ist, daß aber praktische Ergebnisse aus dieser Eigenschaft nicht resultieren. Wenn trotzdem von verschiedensten Seiten günstige Ergebnisse mit Röntgenbestrahlung tuberkulöser Herde usw. erzielt worden sind, so handelt es sich hier sicher nicht um eine direkte Einwirkung auf die Bakterien, sondern um die allgemeine Wirkung der Zellzerfallshormone, auf die schon mehrfach hingewiesen wurde. In diese Wirkungskategorie fällt wohl auch die Erfahrung von Wickham (154), der bei Anwendung stark gefilterter Radiumstrahlen auf Staphylokokkenerkrankungen der Haut wesentlich günstigere Wirkungen sah, als der geringen

bakteriziden Kraft in vitro entsprach. In gleichem Sinne spricht auch das Ergebnis von Werner (155), daß, während eine Desinfektion von frischen Wunden durch Radiumeinwirkung nicht möglich war, stark in Zerfall begriffenes Gewebe von Radiumulzerationen eine beträchtliche Immunität gegen Infektionen aufwies. Dieser Befund ist deswegen wichtig, weil er in Übereinstimmung mit den Ergebnissen bei der Strahlentherapie der bösartigen Geschwülste darauf hinweist, daß nicht nur aus weißen Blutzellen, sondern auch aus anderen Zellen derartige immunisierende Substanzen beim Zerfall frei werden.

Wirkungen auf andere niedere Organismen.

Ähnliche Wirkungen wie auf Bakterien werden auch auf andere niedere Organismen ausgeübt. So auf verschiedene Pilze (Dauphin (156), Salomonsen und Dreyer (100), Körnicke (148) u. a.). Für die Lebenstätigkeit der Hefe haben Fürstenberg und Höstermann (157) durch Radiumemanation in sehr hoher Konzentration eine erhebliche Herabsetzung der Gärungstätigkeit nachweisen können. Mit kleinen Dosen Emanation konnte ich in Gemeinschaft mit v. d. Heide sowohl im Laboratoriumsversuch als auch beim Versuch im fabrikatorischen Betrieb eine Erhöhung der Alkoholausbeute und ein vermehrtes Wachstum der Hefe feststellen. Das gleiche hat Stoklasa (150) festgestellt bei einer Konzentration von 100—120 M. E. pro Liter Luft. Dagegen ergaben Versuche von Plesch, Karczac und Keetman (158) mit Thorium X keine nennenswerte Beeinflussung des Gärungsprozesses der Hefe. Die Einwirkung auf Trypanosomen wurde bereits erwähnt. Bei Protozoen (Nereis) sahen Salomonsen und Dreyer bei Bestrahlungen mit 50 mg Radiumbromid eine charakteristische Primärwirkung auf den Kern. Umfangreiche Versuche an Protozoen stellte ferner Wilcock (159) an. Er fand dabei erhebliche Unterschiede derart, daß chlorophyllhaltige Formen erheblich widerstandsfähiger waren als chlorophyllfreie. Erstere zeigten noch Reizerscheinungen bei Dosen, die bereits in der Lage waren, letztere schwer zu schädigen.

Mit den Befunden von Wilcock decken sich hinsichtlich der größeren Empfindlichkeit chlorophyllfreier Organismen die Versuchsergebnisse von Margarete Zuelzer (160). Diese beobachtete die Wirkung direkter Bestrahlung auf Protozoen. Zuerst traten auch hier Reizwirkungen hervor, gekennzeichnet durch lebhafte Bewegung und regere Protoplasmaströmung. Dann kapselten sich die Protozoen ein und schließlich gingen sie durch Platzen zugrunde. Der Vorgang der Schädigung setzte stets am Kern ein, nach längerer Bestrahlung zeigte sich aber auch eine Schädigung des Protoplasmas.

Einwirkung auf pflanzliche Organismen.

Zahlreich sind die Versuche über die Einwirkung der radioaktiven Substanzen auf pflanzliche Zellen und Organismen. Wir hatten oben bereits erwähnt, daß auch in der Pflanzenwelt die starke Radiosensibilität der Keimzellen deutlich hervortritt. So beschäftigten sich denn auch die ersten diesbezüglichen Versuche von Matout, über die H. Becquerel (161) berichtet hat, mit der Wirkung der Strahlen auf die Samenkörper der Gartenkresse und des weißen Senfs. Es wurde bei sehr langdauernder Bestrahlung (wohl entsprechend der Schwäche des Präparates) schließlich eine Vernichtung der Keimkraft festgestellt. Körnicke (162), dessen grundlegende Versuche bereits mehrfach erwähnt wurden, arbeitete mit 5—10 mg Radiumchlorid. Er verwandte die Samen von Bohnen, Erbsen und Kohlrüben. Die α-Strahlen waren bei seinen Versuchen ausgeschaltet. Bei der von ihm gewählten Versuchsanordnung mit diesem Präparat fand er keine vollkommene Verhinderung des Aus-

keimens, wohl aber eine Verkümmerung der jungen Keime. Es handelt sich hier augenscheinlich um eine Parallelerscheinung an Pflanzenkeimlingen zu der Radiumkrankheit, die von Hertwig und seinen Mitarbeitern an tierischen Larven, die sich aus bestrahlten Eiern entwickelt hatten, festgestellt wurde. Emmy Stein (163) hat kürzlich sehr interessante „Radiomorphosen" durch Bestrahlung des Vegetationspunktes, der unentwickelten Blüte und des Samens von Antirrhinum beobachtet. Zu ähnlichen Resultaten wie Körnicke kam Guilleminot (112), der an Samen von Radieschen und Pimpernelle arbeitete. Wie bereits erwähnt, erwiesen sich die Samenkörner in der Keimung empfindlicher als im Ruhestadium. Bickel und King (164) weichten Hafer in Wasser auf, das 1 Million M. E. und mehr in Form von Thorium X enthielt. Der Hafer keimte aus, aber es traten wie bei den Versuchen von Körnicke Entwicklungshemmung und Entwicklungsanomalien zutage.

Über die Wirkung der radioaktiven Emanation auf pflanzliche Organismen haben zuerst Falta und Schwarz (165) Mitteilung gemacht. Sie fanden eine wachstumsfördernde Wirkung auch von recht beträchtlichen Emanationsdosen (2600—22500 M. E. pro Liter) auf Haferkeimlinge. Molisch (166) verwandte kleinere Emanationsdosen bei seinen Versuchen über das Treiben von Pflanzen unter dem Einfluß radioaktiver Emanation. Er stellte fest, daß bei verschiedenen Gewächsen die Ruheperiode der Winterknospen in einer gewissen Phase aufgehoben und die Knospen zur Keimung gebracht wurden. So bei Syringa vulgaris, Liriodendron tulipifera usw. Bei anderen gelang dies nicht, so bei Platanus, Ficus silvata. In anderen Versuchen stellte auch Molisch (167) Schädigungen der Entwicklung höherer Pflanzen durch Bestrahlung ihrer Samen oder Keimlinge fest. In geringerer Konzentration sah er eine wachstumssteigernde Wirkung. Auch schon entwickelte Pflanzenorgane können durch radioaktive Emanation geschädigt werden. So trat bei manchen Holzgewächsen vorzeitiger Laubabfall ein.

Sehr exakt und lehrreich sind auch hier wieder die Versuche von Stoklasa (168) und seinen Mitarbeitern. Sie sahen günstige Wirkung auf die Keimung pflanzlichen Samens durch radioaktive Emanation, doch in individuell sehr wechselndem Ausmaße. Wasser mit 15—30 M. E. pro 100 Samen (Trockensubstanz) beschleunigte meist das Erwachen des Embryos sowie das Wachstum der Keimlinge. 50 M. E. konnten schon hemmende Wirkungen hervorrufen. Die Entwicklung von Pflanzen wurde stark beschleunigt durch Begießen mit radioaktivem Wasser bis zu einem Gehalt von 300 M. E. pro Liter, wie aus dem Gewichte der Trockensubstanz der Pflanzen gegenüber solchen, die mit nichtradioaktivem Wasser behandelt wurden, festgestellt werden konnte. Dagegen zeigte Behandlung mit einem Wasser von 300—600 M. E. Radioaktivitätsgehalt, das jeden vierten Tag erneuert wurde, schon schädigenden Einfluß.

Wurden Kulturpflanzen wie Mohn, Lupine, Zuckerrübe, Pferdebohne täglich mit Radiumwasser von 300 M. E. begossen, so zeigte sich nach 30 Versuchstagen ein schädigender Einfluß, dagegen bei Verwendung von radioaktivem Wasser, enthaltend 50—100 M. E. pro Liter, schnellerer Blütenansatz und raschere Befruchtung.

Versuche im Emanatorium mit 10—30 M. E. pro Liter Luft ergaben eine Erhöhung der Erträge von 30—90%.

Auch auf den Stoffwechsel der Pflanzen hat das Radium Einfluß. Hébert und Kling (169) hatten bereits gezeigt, daß die Atmung von Pflanzenzellen, die mit einem Radiumbromidpräparat bestrahlt wurden, gelitten hatte, ohne daß eine Änderung des respiratorischen Quotienten eingetreten war. Stoklasa wies nun nach, daß die Atmung der Pflanzenzellen durch eine Emanation von 150—160 M. E. pro Liter Luft um 32—66% vermehrt wurde. Ein schädlicher Einfluß auf den Stoffwechsel der Pflanzen zeigte sich bei kurzer Durchleitung von 50000—60000 M. E. pro Liter Luft des Versuchsemanatoriums.

Auch bei Pflanzen zeigen, wie im tierischen Organismus, die einzelnen Organe eine verschiedene Radiosensibilität. Am widerstandsfähigsten erwiesen sich die Wurzeln.

weniger die Blüten, am empfindlichsten Keimlinge und junge Blätter. Dieser Befund harmoniert mit Versuchsergebnissen von Körnicke (170) und von Fabre (171), welche bei den Blütenknospen an Lilien nachwiesen, daß die Kerne der vegetativen Zellen wesentlich unempfindlicher gegen Radiumbestrahlung waren als die der Pollenmutterzellen.

Daß auch die natürliche Radioaktivität des Bodens auf das Pflanzenwachstum nicht ohne Einfluß ist, ist wohl verständlich. Dautwitz (172) hat zuerst darauf hingewiesen, daß die Vegetation in der Gegend der großen Radiumgänge in Joachimsthal außerordentlich geschädigt ist. Stoklasa (168) stellte in exakten Versuchen fest, daß geringe Mengen von Radioaktivität im Boden sehr günstig auf die Keimung des Samens von Weizen und Gerste wirkte, während größere Dosen entsprechend der Beobachtung von Dautwitz schädigend wirkten. Dabei scheint die Sauerstoffzufuhr von einer gewissen Bedeutung zu sein. Wenigstens fand Stoklasa, daß bei mangelnder Sauerstoffzufuhr ein verhältnismäßig schwacher Emanationsgehalt des Bodens schon toxisch wirkte, während bei reichlicherer Sauerstoffzufuhr sogar eine starke Radiumemanation ohne schädliche Wirkung blieb. So sah er in Versuchen mit Gerste in großen Emanatorien von 66 l Rauminhalt bei einem Gehalt von 13 M. E. Radioaktivität im Liter Luft noch eine günstige Wirkung auf die Keimung. In kleinen Emanatorien von 20 l Inhalt wirkten 7 M. E. pro Liter schon schädlich und hemmten den Keimungsprozeß.

Über die Rolle, die Stoklasa bei diesen Vorgängen dem Kalium zumißt, soll später gehandelt werden.

Aus dieser Zusammenstellung der Vorgänge bei der Einwirkung der Radioaktivität auf tierische und pflanzliche Zellen und Gewebe kann man ganz im allgemeinen den Schluß ziehen, daß ceteris paribus kleine Dosen fördernd wirken auf Zellfunktionen, Organfunktionen usw., während größere alle Stadien von mehr oder weniger starker Schädigung bis zu völliger Abtötung bewirken. Dabei muß nochmals hervorgehoben werden, daß wie überall auch hier die Begriffe „klein“ und „groß“ durchaus relativ zu nehmen sind, entsprechend der verschiedenen Radiosensibilität verschiedener Lebewesen, verschiedener Organe, verschiedener Zellgruppen und Zellen und derselben Zelle in verschiedenen Entwicklungsstadien.

Sehr häufig wird zur Begründung dieses Verhaltens auf das sogenannte Arndt-Schultzsche Grundgesetz verwiesen. Nach diesem sollen schwache Reize die Lebensfähigkeit anfachen, mittelstarke sie fördern, starke wirken hemmend und stärkste heben sie auf. Dies trifft sicher sehr häufig zu. Aber man muß sich darüber klar sein, daß dieses Gesetz nichts erklärt, sondern nur eine zusammenfassende Darstellung einer vielfach bestätigten Erfahrungstatsache ist. Eine Erklärung wäre aber bis zu einem gewissen Grade gegeben, wenn man die Vorgänge der Reizung sowohl wie der Schädigung und Zerstörung auf denselben ursächlichen Vorgang zurückführen könnte.

Meines Erachtens ist der primäre Vorgang stets eine Zerstörung eines Zellteiles oder einer Zelle, im Organismus der Tiere, wie wir gesehen haben, in erster Linie der empfindlichen Blutzellen. Auch bei Verletzung von pflanzlichen Zellen werden derartige hormonartig wirkende Substanzen frei, wie Haberlandt (173) nachgewiesen hat. Je nach der Stärke der Einwirkung und der Radiosensibilität der Zelle gelangen diese Hormone zunächst intrazellulär zur Entwicklung. Dort wirken sie in geringer Konzentration als Reiz, der sogar zur parthenogenetischen Zellteilung führen kann (Bohn, 174, an Seeigeleiern, Haberlandt an Pflanzen), in starker Konzentration

führen sie den Untergang der Zelle herbei. Ich (175) habe vorgeschlagen, in geringfügiger Abänderung der Definition und Nomenklatur Haberlandts diese Substanzen als Nekrohormone zu bezeichnen, da sie stets nekrotischen Prozessen ihren Ursprung verdanken.

Beim Untergange von Zellen oder Zellgruppen im Organismus treten die Nekrohormone als „Zellzerfallshormone“ in den Kreislauf und entfalten hier ihre Wirksamkeit, die ihrer Natur entsprechend eine Reizwirkung ist. Wächst der Reiz, so wächst zunächst die Wirkung. Wird er aber übermäßig stark, so findet eine Lähmung der Vorgänge statt, die die Beantwortung jenes Reizes darstellen. Dieser lähmenden Wirkung kann eine um so stärkere Gegenreaktion im Organismus folgen (negative und positive Phase). Treten aber noch größere Mengen in den Kreislauf, so führen sie nur zu Lähmungserscheinungen und können schwere Schädigungen, ja den Tod des Gesamtorganismus bewirken. Denn diese Hormone sind, wie alle Reizmittel in höherer Konzentration, schwere Gifte, die unter Umständen befähigt sind, den Gesamtorganismus zu töten, ein Vorgang also, der mit der lokalen und zellzerstörenden Wirkung in dem Verhältnis von Folge zu Ursache steht. Was also für ganze Zellgruppen schon eine tödliche Dosis bedeutet, kann für den Gesamtorganismus oder einige reagierende Organe noch eine Reizdosis sein.

Wir werden sehen, daß sich auch unsere weiteren Erfahrungen über die Wirkung der Radioaktivität vielfach von diesen Gesichtspunkten aus betrachten lassen.

Wirkung auf Fermente, Antikörper und innere Sekretion.

Dies gilt, wie mir scheint, schon für die Wirkung der radioaktiven Substanzen auf die Fermente. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen, die sich hauptsächlich an die Namen von Bickel, von Loewenthal, Wohlgemuth, Edelstein, Bergell und Braunstein knüpfen, müssen im allgemeinen als sehr wenig befriedigend angesehen werden. Die Resultate lauten widersprechend, und die Einwirkungen sind augenscheinlich nicht sehr erheblich. Bickel (176), der die Literatur auf diesem Gebiete ausführlich bespricht, kommt zu dem Resultate, daß bei Versuchsanordnungen, bei denen nur die β- und γ-Strahlen in Wirksamkeit treten, keine oder nur geringe Wirkungen auf Fermente festzustellen seien. Die Wirkungen kämen vielmehr lediglich der α-Strahlung zu, und dem sei es zuzuschreiben, daß die Ergebnisse bei der Verwendung von Emanation, einem α-Strahler, viel eindeutiger seien. Es kann dies aber meines Erachtens doch nicht zutreffend sein, weil sonst die Versuche mit Thorium X bessere Resultate hätten ergeben müssen. Denn auch die Ergebnisse von Minami (177) mit Thorium X auf Speicheldiastase des Menschen, Pankreasdiastase des Hundes, Pepsin und Trypsin sind keineswegs sehr imponierend, und Plesch, Keetman und Karczag (158) hatten ein vollkommen negatives Ergebnis auf die Pepton verdauende Wirkung des Trypsins. Auch Gudzent (178) konnte keinen Effekt beobachten auf Nuklease und Trypsin sowohl mit den α-Strahlen des Thorium X und seiner Zerfallsprodukte, als auch mit α-Strahlen der Radiumemanation. Er steht auf dem Standpunkte, daß ein Einfluß der α-, β- und γ-Strahlen der radioaktiven Substanzen auf fermentative Prozesse überhaupt nicht erwiesen sei.

Anders dagegen verhalten sich die endozellulären Fermente. Diese werden frei je nach der Stärke des Zellzerfalls, der seinerseits wieder abhängt von der Stärke der radioaktiven Einwirkung einerseits und der Radiosensibilität des Substrates anderer-

seits. Daß bei dem Wirkungsvorgang autolytische Prozesse im Vordergrunde stehen, ist nicht verwunderlich.

Den grundlegenden Versuch über die Einwirkung der radioaktiven Strahlung auf die autolytischen Fermente verdanken wir Neuberg (180). Er versenkte täglich 5—6 mal während 10—15 Minuten ein starkes Radiumpräparat in einen Brei aus menschlichem Leberkarzinom, der bei 38—39° im Brutschrank digeriert wurde, und sah eine erhebliche Vermehrung des in Lösung gegangenen inkoagulablen Stickstoffs gegenüber den Kontrollversuchen. Wurde der Brei jedoch vor der Digestion gekocht, so war die Bestrahlung wirkungslos.

Zu ähnlichen Resultaten gelangte mit der gleichen Methodik Wohlgemuth (181) an tuberkulösem Lungengewebe. Dagegen waren die Versuche des gleichen Autors an der Leber eines frisch getöteten Kaninchens negativ (182), vielleicht deswegen, weil das Gewebe soviel schwerer unter der Wirkung der Radiumstrahlen zerfällt. Unterschiede zwischen der Autolyse normalen und pathologischen Gewebes sahen auch Loewenthal und Edelstein (183) bei Verwendung von radioaktivem Wasser mit einer durchschnittlichen Aktivität von 34400 M. E. pro Liter. Sie fanden, daß die Autolyse von pneumonischer Lunge stärker beeinflußt wurde als von normaler. Ferner war die Autolyse erheblich stärker bei Sarkom als bei Kalbsleber und Menschenlunge; die stärkste Wirkung wurde bei menschlichem Leberkarzinom beobachtet.

Bickel und Minami (184) vermißten allerdings eine Wirkung auch auf Karzinom und Sarkom durch Bestrahlung mit 30 mg Mesothoriumbromid unter Ausschaltung der α-Strahlen.

Infolge der günstigen Wirkung der Emanationsbehandlung bei der Gicht hatte Gudzent (185) auf eine Aktivierung der urikolytischen Fermente geschlossen. Doch ergaben Versuche von A. Schulz (186), daß in Wasser gelöste Radiumemanation in einer Aktivität von 5—10 M. E. pro ccm Versuchsgemisch auf das urikolytische Ferment der Hundeleber und der Rinderniere keinen erkennbaren Einfluß ausübte. Dagegen fand er in der Rindermilz eine Erhöhung der Harnsäurebildung, die er nicht als eine direkte Folge des autolytischen Prozesses, sondern als Fermentaktivierung auffaßt. Starkenstein (187) sah keine Wirkung auf die Purinfermente und hält die Steigerung der Purinausscheidung, die in vivo beobachtet wurde, lediglich für eine Folge des gesteigerten Kernzerfalls der radiosensiblen Elemente des Blutes. Auch Gudzent (188) hat seine Ansicht einigermaßen modifiziert. Er meint, daß bald das Harnsäure abbauende, bald aber auch ein Harnsäure aufbauendes Ferment aktiviert werde.

Derselbe Autor stellte in Gemeinschaft mit Maase und Zondek (189) fest, daß fleischfrei ernährte Versuchspersonen, die intramuskuläre Injektionen von Thorium X äquivalent 0,2 mg Radiumbromid erhielten, eine Steigerung der Werte der Blutharnsäure zeigten, die nach 60 Stunden noch nicht zur Norm zurückgegangen war. Parallel ging ein Anstieg der Harnsäurewerte im Harn. Kolchikum und Atophan zeigten ein gleichsinniges Verhalten. Es braucht aber meines Erachtens dieser Vorgang nicht auf Fermentaktivierung zu beruhen, denn zweifellos bewirkt eine solche Injektion von Thorium X auch Zellzerfall im Organismus.

Zu den Zellzerfallswirkungen gehören wohl auch die angeblichen Einwirkungen auf das Gerinnungsferment des Blutes durch Radiuminjektionen und subkutane wie intravenöse Injektionen von Thorium X. Sie wurden bereits oben auf den Zerfall der Blutplättchen zurückgeführt. Daß wir auch hier wieder die Unterschiede in der Wirkung großer und kleiner Dosen beobachten können, ist nicht erstaunlich.

Ganz ähnlich wie bei den Fermenten liegen die Verhältnisse augenscheinlich bei den verschiedenen Formen der Antikörper. Während z. B. gegen verschiedene Bakterientoxine in vitro eine Einwirkung der radioaktiven Strahlung nicht nachweisbar war (Danycz, 190, Goldberg, 191), werden im Organismus Steigerung der Antikörperbildung in mannigfaltiger Form beobachtet. So sah Reiter (192) unter Radiumemanation eine Steigerung der Phagozytose gegen Tuberkelbazillen, in einzelnen Fällen bis zu 30%. v. Klecki (193) hatte gegenüber Coli, Staphylococcus aureus

und Tuberkelbazillen wechselnde Erfolge. Schütze (194) stellte bei Typhus und Cholera eine geringe Vermehrung der Agglutininbildung im Blutserum von Kaninchen fest, H. Lippmann (195) konnte bei Kaninchen durch kleine Dosen Thorium X eine bereits im Absinken begriffene Agglutininproduktion gegen Typhus energisch steigern. Auch konnte er Mäuse auf diese Weise vor einer vielfach tödlichen Pneumokokkeninfektion retten. Derselbe Autor (196) fand bei 3 von 4 mit Schweinerotlauf infizierten Meerschweinchen, die durch Thorium X-Injektionen leukozytenfrei gemacht worden waren, keine Schweinerotlaufstäbchen mehr, während die Kontrolltiere an Schweinerotlauf zugrunde gingen. Er führt diesen Effekt auf das Freiwerden bakterizider Stoffe aus den aufgelösten Leukozyten zurück. Ebenso war auch die Choleravibriolyse beim Pfeifferschen Versuch durch die freiwerdenden Leukozytenstoffe beim Thoriumtier beschleunigt. Wir sehen also auch hier die Wirkungen der Nekrohormone, die infolge des Zellzerfalls im Organismus entstehen. Es handelt sich daher bei all diesen Beobachtungen um unspezifische Vorgänge. Hierher gehören z. B. auch die immunitätssteigernde Einwirkung des Aufenthaltes im Emanatorium, die Piccaluga (197) in meinem Laboratorium bei Mäusetumoren beobachtete, und die prophylaktischen Wirkungen kurzer Totalbestrahlungen mit Röntgenstrahlen gegen die Infektion von Mäusen mit Tuberkulose, die ich in Gemeinschaft mit Schloßberger (198) festgestellt habe.

Daß große Dosen Radiumstrahlen in Übereinstimmung mit den Ergebnissen bei Röntgenstrahlen (Laewen, 199, Benjamin und Sluka, 200, Fraenkel und Schillig, 201) die Abwehrkräfte herabsetzen, ist sehr wahrscheinlich. Es liegt aber diesbezüglich meines Wissens nur eine Publikation von Chambers und Russ (202) vor, die eine Herabsetzung und Zerstörung des opsonischen Index konstatierten.

Es ist ferner vielfach behauptet worden, daß durch kleine Dosen strahlender Energie auch eine Reizwirkung auf die Organe mit innerer Sekretion ausgelöst werden kann. Theoretisch erscheint dies durchaus möglich, da wir manche Funktionsreize auf Organe und tierisches Gewebe durch Strahlenwirkung wohl kennen, wenn auch vielfach die so gedeuteten Effekte auf Nekrohormonwirkung zurückgehen mögen. Daß eine Anregung der Sexualsphäre durch radioaktive Emanation hervorgerufen wird, ist eine Erfahrungstatsache, die durch die Wirkung der Gasteiner Kur tausendfältig bewiesen ist. Eine hierher gehörige experimentelle Feststellung machten auch Aschkinass und ich bei Gelegenheit von Stoffwechselversuchen, die wir über die Wirkung der Radioaktivität anstellten. Hierbei stellte sich uns auch mein verstorbener Lehrer, N. Zuntz, als Versuchsperson zur Verfügung. Es wurden Respirationsversuche angestellt, bei denen die Versuchsperson auf einem isolierten Sofa lag und negativ elektrisch aufgeladen wurde. Eingeatmet wurde eine Luft, die über ein offenes Radiumbromidpräparat hinwegstrich. Nach derartigen Versuchen beobachtete Zuntz, der ja ein äußerst kritischer Beobachter gewesen ist, an sich selbst eine sehr auffallende Anregung seiner sexuellen Funktionen. Aschkinass und ich, die wir damals noch junge Leute waren, haben an uns derartiges nicht feststellen können. Es ist ja aber eine auch sonst vielfach beobachtete Tatsache, daß Funktionssteigerungen dort klarer zutage treten, wo ein gewisses Manko vorliegt. Aber auch hier erscheint es zweifelhaft, ob es sich bei diesen Vorgängen um eine Reizung der Hodenzellen, oder ob es sich auch hier um Zellzerfallshormone etwa ausgehend von zerfallenden stark radiosensiblen Spermazellen handelt. Sehr interessant sind die Versuche von Halban (203) an Tritonen. Bei den männlichen Tritonen entsteht zur Brunftzeit ein Kamm. Wurden die Tiere in Wasser von verschiedener radioaktiver Konzentration gehalten, so entwickelte sich bei einer bestimmten Konzentrationsstärke der Kamm mit einer

außerordentlichen Plötzlichkeit, „förmlich über Nacht“. Auch außerhalb der Brunftzeit konnte Halban auf diese Weise die Kammentwicklung der Tritonenmännchen hervorrufen, aber nur vorübergehend.

Auch auf das chromafine System sind Reizwirkungen beschrieben worden. Salle und v. Domarus (204) konstatierten bei Kaninchen, Hunden und Meerschweinchen bei bestimmten Dosen Radioaktivität eine Reizung der Adrenalinproduktion der Nebennieren.

Reicher sind unsere Erfahrungen auf diesem Gebiete bei Verwendung der Röntgenstrahlen. Besonders eindeutig scheint die Feststellung von Stettner (205), der bei Kindern durch Röntgentiefentherapie des Kopfes infolge Reizung der inneren Sekretion der Hypophyse einen Wachstumsimpuls setzen konnte derart, daß ein Wachstumsrückstand von Jahren innerhalb weniger Monate ausgeglichen wurde. Aber selbst solche scheinbar so beweisenden Befunde sind nicht mit Sicherheit im Sinne einer direkten Reizung der endokrinen Organe zu deuten. Poos (206) hat festgestellt, daß die von L. Fraenkel und Geller (207) nach Hypophysenbestrahlungen beobachtete Genitalunterentwicklung junger Tiere auch nach Thorax- und Oberschenkelbestrahlungen eintritt. Poos schließt daraus, daß die Vorgänge aufgefaßt werden müssen als Teilerscheinung einer typischen Allgemeinschädigung, die durch allgemeine indirekte Strahlenwirkung bedingt ist.

Ich persönlich glaube, daß sich beide Vorgänge nicht sicher voneinander trennen lassen. Die hormonalen Effekte können wohl einerseits direkt durch die Reizung des betreffenden sekretorischen Organs ausgelöst werden, andererseits durch den Zellzerfall, den wir auf Schritt und Tritt als mächtiges auslösendes Agens der Strahlenwirkung sehen.

Einwirkung auf einzelne Körperfunktionen.

Es bleibt noch übrig, den Einfluß der radioaktiven Substanzen auf einzelne Körperfunktionen kurz zu erwähnen. Salle und v. Domarus (204) wurden zu ihren Versuchen angeregt durch die Feststellung von Loewy und Plesch (104), daß beim Menschen durch Aufenthalt im Emanatorium mit 20000 M. E. Emanationsgehalt meist eine Blutdrucksenkung eintrat. In einer zweiten Versuchsreihe an Hunden hatte jedoch Loewy (208) bei Einatmung emanationshaltiger Luft sehr ungleichmäßige Resultate. Eine weit stärkere Blutdrucksenkung, aber auch nicht in allen Fällen, beobachteten Plesch, Karczag und Keetman (158) am Menschen nach Thorium X-Injektionen. Die eindeutigeren Ergebnisse gegenüber den Versuchen mit Radiumemanation erklären die genannten Autoren dahin, daß Thorium X leicht zerfällt und daher die Zerfallsprodukte im Organismus länger verbleiben und so eine intensivere Wirkung entfalten können. Nach Plesch und seinen Mitarbeitern ist im allgemeinen die Blutdrucksenkung um so größer, je höher der Blutdruck zuvor war.

Über die Wirkung der Radiumemanation auf die Herztätigkeit liegen Versuche von Th. A. Maaß (209) am isolierten Froschherzen vor. Bei geringer Konzentration fand er bisweilen erhöhte Herztätigkeit, bei höheren Dosen Dehnung des Herzens, Abnahme der Frequenz, unvollkommene Systolen und schließlich Herzstillstand in höchster Diastole. Der Herzstillstand konnte meist durch Auswaschen mit Ringerlösung wieder beseitigt werden. Es ist bemerkenswert, daß diese Wirkung nur bei Winterfröschen auftrat: bei Sommerfröschen wurde nur Verlangsamung der Herztätigkeit und Unregelmäßigkeit der Herzaktion gefunden.

Auch Thorium X zeigt auf das Kaltblüterherz einen gleichen Einfluß im Sinne einer Zunahme der diastolischen Dehnbarkeit des Herzens, wie Maaß und Plesch (210) nachgewiesen haben. Am Warmblüterherzen fand Tsiwidis (211) nach Injektion von 125—250 E.-S.-E.-Thorium X pro kg Bradykardie und zuerst Herabsetzung, dann geringe Steigerung des Blutdrucks. Auf die wichtigen Versuche von Zwaardemaker und seiner Schule soll erst später eingegangen werden.

Einwirkung auf den Stoffwechsel.

Auch über die Einwirkung der Radioaktivität auf den Stoffwechsel liegt ein ziemlich umfangreiches, wenn auch nicht sehr schlüssiges Material vor.

Den respiratorischen Stoffwechsel des Menschen unter dem Einfluß radioaktiver Bäder untersuchte Silbergleit (212) nach der Zuntzschen Methode. Ein Effekt blieb aus. Dagegen fand derselbe Autor (213) nach Trinken von emanationshaltigem Wasser in zwei von drei Fällen eine Steigerung des Grundumsatzes.

Weitere Versuche über die Wirkung der Aufnahme von radioaktivem Wasser per os liegen vor von Kikkoji (214). Er stellte seine Versuche an Menschen und an Hunden in einem Respirationsapparat nach Jaquet an. Die Versuchspersonen erhielten dreimal täglich radioaktives Wasser mit je 332 M. E. Zwei Patienten mit Polyarthritis chronica zeigten verschiedenes Verhalten. In dem einen Falle war der Stoffwechsel unverändert, im anderen war er gesteigert. Ein Versuch an einem 16jährigen gesunden Knaben ergab in den ersten beiden Tagen des 10tägigen Emanationsversuches einen Anstieg des Sauerstoffverbrauches gegenüber der Vorperiode. Vom 3. Tage ab erfolgte jedoch eine Senkung unter den Wert der Vorperiode. Diese Senkung setzte sich auch in der Nachperiode weiter fort. Versuche am Hunde ergaben eine Steigerung des Energieverbrauches in der Emanationsperiode.

Bernstein (215) untersuchte nach der Methode von Zuntz den Einfluß des Aufenthaltes im Emanatorium bei ziemlich hohen Dosen Radioaktivität. Er fand in einem Falle von Eunuchoidismus eine Steigerung des Grundumsatzes um ca. 6,3% bei leichter Erhöhung des R. Q., bei einem Falle von Morbus Basedowii, bei dem der Grundumsatz des Patienten schon von vornherein gesteigert war, war nach 2 Stunden Aufenthalt in einem Emanatorium von 150 M. E. pro Liter Luft der Grundumsatz um weitere 13,3% gesteigert, der R. Q. erhöht. Auch bei zwei Fällen von chronischem Gelenkrheumatismus fand sich eine Steigerung, in einem Falle um ca. 27%. Negatives Ergebnis hatte Bernstein jedoch bei einem Patienten mit Infantilismus. v. Benczúr und Fuchs (216) untersuchten den Energieumsatz von vier Personen teils nach Aufenthalt im Emanatorium mit 20 M. E. pro Liter, teils nach Trinken von 300 000 bzw. 450 000 M. E. in radioaktivem Wasser. Es ergab sich in drei Fällen eine geringe Steigerung des respiratorischen Stoffwechsels ohne Veränderung des R. Q.

Sehr eigenartig sind die Ergebnisse von Plesch und seinen Mitarbeitern (158) über die Einwirkung des Thorium X auf den respiratorischen Stoffwechsel. Sie fanden nach Inhalation einer Thoriumemanation in Stärke von 150 E.-S.-E. enorme Steigerung des Sauerstoffverbrauches und der Kohlensäureproduktion. In einem Falle übertraf die letztere diejenige der Sauerstoffaufnahme so erheblich, daß der R. Q. auf 1,2 anstieg. Ähnliche Resultate hatten sie bei zwei Patientinnen mit chronischem Muskelrheumatismus bzw. akutem Gelenkrheumatismus, denen sie intravenös Thorium X in Höhe von 500 bzw. 470 E.-S.-E. verabfolgten. Auch hier sahen sie ein Ansteigen des respiratorischen Stoffwechsels, der sich am stärksten in der CO_2-Produktion aussprach, so daß der respiratorische Quotient bis auf 1,3 bzw. 1,4 anstieg. Dagegen hatten sie in einem dritten Versuche, ebenfalls bei einer Patientin mit chronischem Muskelrheumatismus, die 620 E.-S.-E. intravenös erhielt, eine Abnahme des O-Verbrauches sowohl als auch der CO_2-Produktion. Auch hier aber stieg der R. Q. von 0,73 auf 0,94.

Zu diesen Resultaten stehen in erheblichem Gegensatze Versuche von Bernstein, die Falta (2) mitteilt. Versuche an Hunden, die 500 E.-S.-E. Thorium X subkutan oder intravenös erhielten, ergaben eine leichte Senkung des respiratorischen Stoffwechsels, und ebenso verhielt sich ein Mensch nach subkutaner Einverleibung von 400—500 E.-S.-E.

Kikkoji hat in seinen Versuchen (214) auch den N-Stoffwechsel festgestellt. Er beobachtete in den Fällen, in denen der respiratorische Stoffwechsel gesteigert war, auch eine Steigerung der Stickstoffausfuhr im Harn. Das gleiche ergab auch der eine Versuch am Hunde.

Theis und Bagg (217) injizierten zwei Hunden intravenös Radiumemanation in isotonischer Kochsalzlösung. Der eine Hund erhielt innerhalb 2 Monaten vier Injektionen à 95, 30, 42 und 64 Millicuries, der andere innerhalb 7 Wochen vier Injektionen à 120, 17, 54, 146 Millicuries. Bei beiden Tieren zeigte sich nach den Injektionen eine erhöhte Stickstoffausscheidung, die am 2. Tage ihren Höhepunkt erreichte.

Zahlreiche Untersuchungen liegen über das Verhalten der Harnsäureausscheidung und des Purinstoffwechsels vor. Die meisten sind allerdings an gichtischen Personen angestellt und gehören bei der Unklarheit, die über das Wesen und die Pathogenese der Gicht herrscht, nicht zu dem Thema unserer Betrachtungen.

Gudzent und Loewenthal (218) stellten auch bei Nichtgichtikern ein Ansteigen der Harnsäureausscheidung fest, das in einem Falle von chronischer Arthritis ca. 25% betrug. Die Purinbasen zeigten ein wechselndes Verhalten. Auch Kikkoji (214) sah bei denjenigen Fällen, bei denen eine Beeinflussung des Stoffwechsels auch sonst zu konstatieren war, einen Anstieg der Harnsäureausscheidung, der bei dem reagierenden Fall von chronischer Arthritis sehr erheblich war, und sich auch über die Nachperiode erstreckte. Bei dem gesunden Knaben war er dagegen nur gering. Falta und seine Mitarbeiter (2) fanden sehr erhebliche Steigerung der Harnsäureausscheidung unter dem Einflusse mehrstündigen Aufenthaltes im Emanatorium bei Patienten mit Polyarthritis, akutem Gelenkrheumatismus und multipler Sklerose.

In einem Selbstversuch, der allerdings strengen Anforderungen nicht ganz genügt, konstatierte Wilke (219) ein Ansteigen der Harnsäureausscheidung nach Trinken von radioaktivem Wasser bei völlig purinfreier Kost. Da außer diesem Versuch und einem der Versuche Kikkojis auch die nicht gichtischen Fälle durchweg klinischem Material entstammen, der normale Fall von Kikkoji aber keinen wesentlichen Effekt zeigte, ist es immerhin wichtig, daß Theis und Bagg in ihrem oben zitierten Versuche an Hunden gleichfalls ein Ansteigen der Harnsäure- und Kreatininausscheidung feststellen konnten. Daß eine Vermehrung der Harnsäureausscheidung eintritt, ist ja bei dem stets in mehr oder weniger starkem Ausmaße stattfindenden Leukozyten- und Lymphozytenzerfall wohl zu verstehen. Doch sahen Falta und Mitarbeiter nach Thorium X-Injektionen selbst in beträchtlichen Dosen nur unbedeutende Steigerungen der Harnsäureausscheidung im Harn bei Stoffwechselgesunden oder an chronischer Arthritis leidenden Individuen.

Klimatische Radioaktivität.

Schon vor den ältesten hier zitierten Untersuchungen über den Einfluß radioaktiver Substanzen auf den Stoffwechsel haben Aschkinass und ich umfangreiche Respirationsversuche an Hunden und Menschen, die sich unter dem Einflusse der Radioaktivität befanden, angestellt. Doch war die Fragestellung eine speziellere, und daher auch die Versuchsanordnung eine von den bisher besprochenen Experimenten abweichende.

Es handelte sich um die Prüfung gewisser klimatischer Vorgänge, die lokal an Orten mit hohem Emanationsgehalt vorliegen und besonders auch ein charakteristisches Merkmal des Höhenklimas sind. Das Hochgebirge zeichnet sich nämlich dadurch aus, daß die Luft dort einen besonders hohen Grad von Ionisation aufweist.

Es ist bekanntlich eine der vorzüglichsten Eigenschaften der strahlenden Materie, daß sie die Luft leitend macht, indem sie sie in negativ und positiv geladene Teilchen, Elektronen und Ionen, zerlegt (Elster und Geitel, 220, Wilson, 221). Dieser Zustand der „Ionisation der Luft" wächst im allgemeinen mit der Erhebung über den Meeresspiegel. Doch ist die gesteigerte Ionisation, wie es scheint, nicht an das Gebirge als solches gebunden, sie zeigt sich vielmehr auch im Luftballon, wie zuerst von Ebert (222) festgestellt worden ist, und zwar verhält sie sich in der Weise, daß das Anwachsen sprungweise in verschiedenen Schichten der Atmosphäre vor sich geht. Die Zustände im Hochgebirge zeigen nun aber nicht nur eine hohe Ionisation, sondern außerdem ein starkes Überwiegen der positiven Ionen, eine sogenannte unipolare Leitfähigkeit. Die Ursache derselben ist die negative Eigenladung der Erdoberfläche gegenüber der Atmosphäre, die an Bergspitzen besonders stark hervortritt. Es kann im Rahmen dieser Darlegungen nicht genauer auf diese Verhältnisse eingegangen werden und sei daher auf unser Buch „Über Höhenklima und Bergwanderungen" verwiesen (223).

Diese Luftionisation wurde zuerst von Elster und Geitel (224) dahin gedeutet, daß sie wenigstens zum Teil dem Vorhandensein von radioaktiver Materie in der Atmosphäre zugeschrieben werden muß. Ob der Gehalt der Atmosphäre an radioaktiven Substanzen die alleinige Ursache der erhöhten Luftionisation im Hochgebirge ist, möchte ich nicht entscheiden. Rutherford (225) legt dar, daß der Gehalt der Erdoberfläche an radioaktiven Substanzen vollkommen ausreiche, um dies Phänomen zu erklären. Andererseits wächst ja aber auch mit der Erhebung über den Meeresspiegel der Gehalt an kurzwelligen Lichtstrahlen in der Atmosphäre, die ebenfalls eine Luftionisation hervorrufen können (vgl. z. B. Dember, 226). Dorno (227) fand allerdings eine überraschende Übereinstimmung der ultravioletten Strahlung in Davos (1560 m) mit den von Elster und Geitel in der Ebene in Wolfenbüttel ermittelten Werten.

Daß radioaktive Substanzen in der Atmosphäre selbst vorhanden sind, haben Elster und Geitel (228), Allan (229) und Bumstead (230) direkt nachgewiesen, indem sie sie auf einem negativ geladenen Draht zum Niederschlage brachten. Es handelt sich im wesentlichen um Radium, in geringerer Menge um Thorium. Auch Saake (231) hat gezeigt, daß in Arosa der Gehalt der Luft nicht nur an freien Ionen, sondern auch an radioaktiver Substanz erheblich höher lag, als Elster und Geitel in der Ebene in Wolfenbüttel gefunden hatten.

Auf die eventuelle Bedeutung dieses klimatischen Faktors für den Organismus haben zuerst Aschkinass und ich (131) hingewiesen. Czermak (232) stellte dann fest, daß beim Föhn sowohl die absoluten Werte für den Elektronengehalt der Luft um das 4—10fache vermehrt sind, als auch besonders die erwähnte Unipolarität bei Föhnwetter deutlich hervortritt. Auch er wies diesen Zuständen der Atmosphäre eine Bedeutung für den Organismus zu und macht auf den Parallelismus aufmerksam zwischen den körperlichen Störungen, die empfindliche Personen beim Föhn aufweisen, und der Bergkrankheit.

Daß die Bergkrankheit nicht lediglich von dem geringeren Sauerstoffgehalt der Atmosphäre abhängt, dafür gibt es mancherlei Hinweise. Besonders spricht in diesem Sinne die Erfahrung, daß sie nicht von der absoluten Höhenlage abhängig ist, sondern in abgeschlossenen Tälern und Schluchten, engen Couloirs usw. aufzutreten pflegt. Sehr eklatant sind in dieser Hinsicht unter anderem[1]) die Mitteilungen von Knoche (233) aus den Anden, der z. B. in Höhe von 5100 m ohne Bergkrankheit blieb, während er in einer solchen von nur 2700 m an bestimmten, klimatisch besonders ausgezeichneten Stellen von der Krankheit befallen wurde. Es stehen diese Verhältnisse augenscheinlich in Verbindung mit der von Elster und Geitel (234) festgestellten Tatsache der außerordentlich hohen Ionisation abgeschlossener Luftmassen. An einer solchen Örtlichkeit, die erfahrungsgemäß zum Eintritt der Bergkrankheit prädisponiert, habe ich (235) Untersuchungen der Luftionisation vorgenommen. Es handelt sich um eine Stelle unterhalb des Lysjochs am Monte Rosa in etwa 4000 m Höhe. Sie ist unter der Bezeichnung „Sasso del diavolo" berüchtigt. Ich konnte dort sehr hohe Werte der Ionisation mit ungewöhnlich starker Unipolarität feststellen. Auch Durig und Zuntz (236) haben auf ihrer Monte-Rosa-Expedition im Jahre 1903 auf dem Dache der Capanna Regina Marghuerita (4580 m) mehrmals besonders hohe Ionisationswerte bei ausgesprochenster Unipolarität festgestellt. Sie fanden an diesen Tagen bei Untersuchung des respiratorischen Stoffwechsels sowohl für die Atemgröße als auch für

---

[1]) Ausführlicheres über diese Verhältnisse in „Höhenklima und Bergwanderungen", l. c. 223, S. 217 ff.

Sauerstoffverbrauch und Kohlensäureausscheidung höhere Werte als gewöhnlich. Allerdings erklären die genannten Autoren diese Befunde auf andere Weise. Bei den mehr oder weniger abnormen Bedingungen, unter denen der Mensch in diesen Höhen lebt, ist es ja schwierig, in derartigen Fällen den ausschlaggebenden Faktor zu eruieren.

Um die Frage nach der Bedeutung dieser luftelektrischen Zustände für den Stoffwechsel zu klären, haben nun Aschkinass und ich schon im Jahre 1902 sowohl an Hunden als auch an Menschen Respirationsversuche ausgeführt. Versuchspersonen waren N. Zuntz, damals 55 Jahre alt, Aschkinass, damals 29 Jahre alt, und ich. damals 30 Jahre alt. Das Versuchsindividuum wurde auf einem isolierten Lager negativ elektrisch aufgeladen und atmete während des Versuches in üblicher Weise Außenluft ein, die über ein offenes radioaktives Präparat strich.

Die Ergebnisse waren jedoch sowohl bei den Versuchshunden wie bei Aschkinass und mir negativ. Nur Zuntz, der bei weitem älteste, zeigte in mehreren Versuchen einen Anstieg des Sauerstoffverbrauchs um etwa 10%. Während des Versuches machten sich ziemlich erhebliche Kopfschmerzen bemerkbar. Im Anschlusse an die Versuche stellte Zuntz jedoch an sich eine ungewöhnliche körperliche und geistige Frische fest, die über mehrere Tage anhielt. Dabei traten die S. 147 erwähnten Erscheinungen seitens der Sexualsphäre auf.

Die Versuche sind seinerzeit in extenso nicht publiziert worden, weil sie uns nicht schlüssig erschienen. Unsere Absicht, sie später fortzusetzen, ließ sich aus mancherlei Gründen nicht verwirklichen. So ist diese Frage bis heute ungelöst geblieben. Vielleicht regt diese kurze Erwähnung dazu an, sie experimentell wieder aufzunehmen.

Loewy (237) führte den von Knoche u. a. erhobenen Befund des Auftretens der Bergkrankheit in relativ niedriger Höhenlage auf partiellen Sauerstoffmangel im Gehirn zurück, bedingt durch die Annahme einer unter dem Einflusse der Radioaktivität auftretenden Verengerung der Gefäße des Zentralnervensystems. Plethysmographische Versuche an Hunden ergaben ihm jedoch (208) im Gegenteil eine Zunahme des Volumens der Hirngefäße nach Aufenthalt im Emanatorium.

Diese Vorgänge in der Atmosphäre sind dann von anderen Autoren in Verbindung gebracht worden mit dem Einflusse des Wetters und mancher Wetterveränderungen auf Rheumatische und Nervöse (Grabley, 238, u. a.).

Organaffinität und Speicherung.

Über die Verhältnisse der Aufnahme der radioaktiven Substanzen im Organismus, ihre Verteilung und eventuelle Speicherung, sowie über die Ausscheidungsverhältnisse liegt ein erhebliches literarisches Material vor. Ich muß aber im Rahmen dieser Darlegung darauf verzichten, hierauf im einzelnen einzugehen, da diese Fragen weniger von allgemein biologischer Bedeutung sind als von klinischer und therapeutischer. Nur eine Frage scheint mir auch biologisch interessant, nämlich die. ob eine Affinität der radioaktiven Substanzen zu bestimmten Organen besteht. Diese Frage hat zunächst nichts zu tun mit der verschiedenen Radiosensibilität der Organe für radioaktive Stoffe und Strahlungen, wozu die irreführende Bezeichnung „Elektivität", die so häufig angewandt wird, leicht verführen könnte. Hier handelt es sich vielmehr darum, ob in den Organismus gelangte radioaktive Stoffe in einzelnen Organen festgehalten werden können. In dieser Beziehung stehen sich verschiedene Meinungen schroff gegenüber. Gudzent (239) hat zuerst behauptet, daß bei längerem Aufenthalt im Emanatorium das Blut sich mit Emanation anreichere, so daß nach einem Aufenthalt von 2—3 Stunden der Emanationsgehalt im Liter Blut den im Liter Emanationsluft um das 4—7fache übertreffen könne.

Dem ist von vielen Seiten lebhaft widersprochen worden. (Plesch, 240, Stras-

burger, 241, Lazarus, 242 u. a.) Es scheint aber nach den Versuchen von Ramsauer und Holthusen (243) doch sicher, daß infolge Adsorption durch die roten Blutkörperchen eine nicht unerhebliche Anreicherung der Emanation im Blute statthaben kann, wenn auch für die Größenordnung, in der sie Gudzent fand, die Versuche von Ramsauer und Holthusen keine ausreichende Stütze gewähren. Wenn man, wie ich es oben dargelegt habe, die Wirkung der in den gebräuchlichen Emanatorien enthaltenen geringen Mengen Radioaktivität lediglich als eine indirekte auffaßt, ist übrigens die ganze Frage praktisch nur von untergeordneter Bedeutung.

Andererseits hatte Plesch (244) zuerst auf eine Affinität der radioaktiven Stoffe zu bestimmten Organen geschlossen, auf Grund sehr mühsamer Untersuchungen über den Radiumgehalt einzelner Organe von Kaninchen nach Injektionen von Radiumbromid. Er fand 24 Stunden nach Injektion von 0,1 mg Radiumbromid bei weitem am meisten, nämlich 75% der verabfolgten Menge, im Knochenmark, dann folgte der Darmkanal mit 8,2% und die Lunge mit 5%. Diese Zahlen harmonieren nicht mit den älteren Ergebnissen an Meerschweinchen, die Bouchard und Balthazard (245) mitteilen. In diesen Versuchen wurden 2 Stunden nach der Injektion starker Radiumemanation die Nebennieren am stärksten aktiv gefunden. Dann folgten Lunge, Leber und Haut. Wieder anders lauten die Angaben von Ramsauer und Caan (246). Sie haben bei Kaninchen nach intravenöser Injektion radioaktiver Substanzen die Leber am stärksten aktiv gefunden, dann folgte Hirn, Niere usw. Die Milz war sehr wenig aktiv. Engelmann (247) sah an Hunden 2—4 Tage nach intraarterieller Injektion einer Radiumlösung von ca. 80000 M. E. die höchste Aktivität in Leber und Niere.

Man sieht also, daß die Ergebnisse wenig miteinander übereinstimmen, was bei der Schwierigkeit derartiger Untersuchungen an sich gar nicht verwunderlich ist. Daß bei Einverleibung radioaktiver Stoffe relativ reichliche Mengen im Knochen verbleiben, scheint aber dennoch erwiesen. Hierfür sprechen die Versuche mit Thorium X. Die Feststellungen von Plesch und seinen Mitarbeitern (158) ergaben bei Kaninchen 1 Stunde nach der Injektion 38% des einverleibten Thorium X in den Knochen, nach 24 Stunden 64%. Auch Brill, Kriser und Zehner (248) fanden beim Kaninchen 2 Stunden nach Injektion von Thorium X die Knochen am stärksten aktiv. Ähnliche Ergebnisse hatte Metzener (249). Doch fand er im Gegensatze zu Plesch eine hohe Konzentration des Thorium X in der Milz. Er glaubt sogar, eine Thorium B-Affinität der Lungen im Gegensatze zur Thorium X-Affinität des Knochenmarks feststellen zu können.

Wie nach Injektionen von Thorium X zeigt sich auch nach solchen von Aktinium X eine hohe Aktivität der Knochen, wie aus den von Lazarus (105) publizierten „Autophotogrammen" hervorgeht.

Ob man allerdings aus diesen Befunden auf eine „Affinität" der radioaktiven Substanzen zum Knochenmark schließen darf, möchte ich bezweifeln. Wahrscheinlich sind doch wohl auch hier einfach mechanische Verhältnisse maßgebend. In diesem Sinne spricht die Feststellung von Brill, Kriser und Zehner (248), daß sich die Prädilektionsstellen der Anhäufung des Thorium X ändern, wenn einige Zeit nach der Injektion verstrichen ist. Bei Versuchen in vitro konnten Gudzent und Herschfinkel (250) keine Anhäufung von Thorium X im Knochenmark nachweisen.

Radioaktivität des Kaliums.

In neuerer Zeit hat sich die Aufmerksamkeit einer im Körper reichlich vorkommenden Substanz zugewandt, die selbst radioaktiv ist. Es ist dies das Kalium. Wie Campbell und Wood (251) nachgewiesen haben, besitzt das Kalium als einziger normaler Körperbestandteil radioaktive Eigenschaften. Allerdings ist seine Aktivität sehr gering. Das Ionisationsvermögen beträgt 1/1000 der β-Aktivität des Urans im

Gleichgewicht mit Uran X. Da die Radioaktivität des Urans etwa nur den millionsten Teil der β-Aktivität des Radiums im Gleichgewicht mit seinen Abbauprodukten beträgt, so folgt daraus, wie geringfügig das radioaktive Vermögen des Kaliums ist. Dasselbe ergibt sich auch aus dem photochemischen Verhalten. Zum photochemischen Nachweis der Radioaktivität des Kaliums ist nach Campbell eine Expositionszeit von 56 Tagen notwendig. Noch geringer ist übrigens die Aktivität des Rubidiums, zu dessen photochemischem Nachweise nach Büchner (252) eine Expositionszeit von 90 Tagen erforderlich ist.

Die Radioaktivität des Kaliums beruht vornehmlich auf β-Strahlung. Hierzu gesellt sich eine ganz schwache γ-Strahlung. Die β-Stahlung des Kaliums ist sehr hart. Ihr Durchdringungsvermögen beträgt etwa das achtfache der β-Strahlung des Radiums.

Die Untersuchungen über die biologische Bedeutung der Radioaktivität des Kaliums knüpfen sich an die Namen von Stoklasa und von Zwaardemaker und ihrer zahlreichen Mitarbeiter.

Wir haben oben bereits der ausgezeichneten Untersuchungen gedacht, die Stoklasa über den Einfluß der Radiumemanation und der Radioaktivität auf pflanzliche Organismen angestellt hat. In ähnlicher Weise wie andere schwache Aktivitäten wirkte nun auch das Kalium. Stoklasa und seine Mitarbeiter (168) stellten nun fest, daß der Keimungsprozeß bei Samen von Hordeum distichum, Triticum vulgare, Secale cereale, Avena sativa, Phaseolus vulgaris und Vicia fava bei Gegenwart von Kaliumchlorid, Kaliumhydroxyd oder Kaliumsulfat im Gegensatze zu der Wirkung von Natriumsalzen beschleunigt wurde. Die Aktivität der Luft in den Emanatorien von 20 l Inhalt, in denen diese Versuche vorgenommen wurden, beobachteten die Autoren in einem Falle zu 0,08 M.E. pro Liter Luft, im anderen zu 0,009 M.E. pro Liter.

Dieselben Autoren hatten ferner gefunden, daß die Radioaktivität in geringen Dosen auf die Wachstumsprozesse und den Stoffwechsel von Pflanzen günstig einwirkte, in größeren dagegen hemmend. Dabei waren allerdings recht erhebliche Unterschiede bei den einzelnen Pflanzenarten zutage getreten in der Größe der fördernden oder hemmenden Dosen. Anders verhielten sich aber die Dinge bei den kaliumreichen Pflanzen, besonders der Zuckerrübe. Züchtete man diese z. B. auf radioaktiven Böden, die 0,3011—3,011 mg Uran in Form von Uranylnitrat oder 1,97—7,9 mg Thorium in Form von Thoriumnitrat oder Thoriumchlorid pro kg Boden enthielten, so traten nur hemmende Wirkungen hervor. Ebenso hemmte schon ganz geringfügige Emanation das Wachstum von Zuckerrüben. Ähnlich wie Zuckerrüben verhalten sich auch andere kalireiche Pflanzen, wie Kartoffel, Weinrebe und Tabak. Diese Vorgänge sind am stärksten ausgeprägt in den Entwicklungsphasen, in denen die Chlorophyllapparate dieser Pflanzen sich ausbilden und besonders reich an Kaliumion sind. Die toxische Wirkung wird in der chlorophyllhaltigen Zelle erzeugt, und es wird dadurch die photosynthetische Assimilation geschädigt. Den Grund für diese Schädigung sieht Stoklasa im Anschluß an die sogleich zu besprechenden Untersuchungen Zwaardemakers in einem biologischen Antagonismus zwischen den α-Strahlen der Radiumemanation und der β-Strahlung des Kaliums.

Die Bedeutung des Kaliums der Pflanzen in Verbindung mit ihrem Chlorophyllgehalt tritt besonders in den photosynthetischen Prozessen hervor. Hierbei kann die Radiumemanation die ultravioletten Strahlen des Lichtes ersetzen. Stoklasa und seinen Mitarbeitern (253) gelang es, nach 56stündiger Einwirkung von Radiumemanation bei Gegenwart von Kaliumhydroxyd aus Kohlensäureanhydrid und Ferrihydroxyd oder Wasserstoff in statu nascendi Zucker, und zwar eine Hexose, herzustellen. Die Autoren sehen auch hierin eine Wirkung der Radioaktivität des Kaliums.

Die Versuche von Zwaardemaker und seinen Mitarbeitern (254) beschäftigen sich in erster Linie mit der Bedeutung der Radioaktivität des Kaliums für die Herztätigkeit. Es erwies sich das isolierte Froschherz in seiner Funktion abhängig von der Gegenwart des Kaliums. Und zwar wirkt hier nach Ansicht Zwaardemakers das Kalium nicht als Ion, sondern als radioaktive Substanz. Die Versuche am isolierten Froschherzen wurden nach der Methode von Kronecker angestellt. Beim Durchspülen des überlebenden Froschherzens mit kaliumfreier Ringerlösung tritt Herzstillstand ein. Wird das Kalium dagegen durch andere radioaktive Elemente, Rubidium. Uran, Thorium, Radium oder radioaktive Emanation ersetzt, so schlägt das Herz ungehindert stundenlang weiter. Zu diesen Elementen kommt das Cäsium, für das aber eine Radioaktivität bisher nicht nachgewiesen werden konnte. Besteht bereits nach Durchleitung kaliumfreier Ringerlösung Herzstillstand, so fängt nach Zufügung einer der radioaktiven Substanzen zur Ringerlösung die Pulsation meist plötzlich, manchmal erst allmählich wieder an. Es vertreten sich dabei die Substanzen annähernd nach äquoradioaktiven Dosen. Es beruht demnach die spezifische Kaliumwirkung nicht auf den chemischen und physikalischen Eigenschaften der Kaliumsalze, sondern auf der radioaktiven Strahlung, die vom Kalium ausgeht. So schließt Zwaardemaker, daß die Anwesenheit einer kleinen Menge eines Radiumelementes in der Zirkulationsflüssigkeit als eine Bedingung aufzufassen sei, die neben den osmotischen Druck, die fast neutrale, schwach alkalische Reaktion, die Balancierung der Ionen usw. zu setzen sei. Wenn die Bedingung der Anwesenheit des Kaliums oder eines ersetzenden Radioelementes nicht erfüllt sei, so sei eine dauernde Automatie des Herzens unmöglich.

Sehr auffallend ist ferner, daß ein Unterschied in der notwendigen Menge des Kaliums zwischen Winter- und Sommerfröschen besteht. Dies beruht vielleicht darauf, daß, wie Hamburger-Groningen nachgewiesen hat, der Kalziumgehalt des Serums der Winterfrösche wesentlich geringer ist als der im Serum der Sommerfrösche. Ist mehr Kalzium vorhanden, also im Sommer, so brauchen weniger Alkaliionen und Schwermetalle aufgenommen zu werden, um eine gleiche radioaktive Wirkung zu erzielen. So ergibt sich folgende von Zwaardemaker aufgestellte Tabelle für die Ersetzbarkeit des Kaliums durch andere radioaktive Elemente.

Winterdosierung (bei 200 mg $CaCl_2$)		Sommerdosierung (bei 250 mg $CaCl_2$)
100 mg	Kaliumchlorid	20—50 mg
150 „	Rubidiumchlorid	30—80 „
—	Cäsiumchlorid	40—80 „
25 „	Uranylnitrat	0,6—6 „
50 „	Thoriumnitrat	2—10 „
0,000005 „	Radiumsalz	0,000003 „
etwa 100 M. E. Emanation.		

An Stelle der Durchleitung von radioaktiver Ringerlösung kann auch Bestrahlung treten. Verwandt wurden Präparate von 3 mg Radium bzw. 5 und 6 mg Mesothorium. Die Bestrahlung erfolgte aus unmittelbarer Nähe. Nach einer Bestrahlung von 1—60 Minuten mit Mesothorium, nach 1—82 Minuten mit dem Radiumpräparat begann der vorher vollständig stillstehende Ventrikel wieder zu pulsieren.

Auch bei kalziumfrei durchströmten Herzen trat Stillstand ein. Hier aber blieb Bestrahlung wirkungslos.

Der gleiche Effekt der Neubelebung des stillstehenden Herzens war auch mit Polonium zu erreichen. Es wirkt also auch reine α-Strahlung ebenso wie reine β-Strahlung. Diese gleichsinnige Wirkung der α- und β-Strahlen gilt jedoch nur, wenn eine

Strahlenart allein verwandt wird. Bei der gleichzeitigen Anwendung von α- und β-Strahlen wirken diese antagonistisch. Ähnliches glaubt ja auch, wie wir schon sahen, Stoklasa festgestellt zu haben. Zwaardemaker teilt daher die wirksamen radioaktiven Substanzen in zwei antagonistische Gruppen, von denen die eine neben γ-Strahlen nur β-Strahlen aussendet, die andere ausschließlich α-Strahlen:

Kalium	Uranium
Rubidium	Thorium
Cäsium	Radium
	Niton (Emanation)

Die α-Strahlen sind biologisch wirksamer. Eine erhebliche Menge β-strahlender Substanz hält also mit einer kleinen Menge α-strahlender das Gleichgewicht.

Gegen diese Darstellung kann ich aber einige Bedenken nicht unterdrücken. Zunächst ist eine Radioaktivität des Cäsiums, wie bereits oben erwähnt, überhaupt nicht nachgewiesen, noch weniger vermögen wir natürlich über die Art seiner Strahlung irgend etwas auszusagen. Ferner senden ja auch die α-Strahler, wie Radium und Niton, sicher nicht nur α-, sondern auch β- und γ-Strahlen aus, da stets Abbauprodukte vorhanden sind. Die Annahme Zwaardemakers, daß bei der geringen Entfernung des Präparates (0,25—2 cm) die α-Strahlung prävaliere, scheint mir nicht bewiesen. Es müßte dann jedenfalls zwischen diesen beiden Extremen der Entfernung doch schon ein wesentlicher Unterschied im Effekte zutage treten, da die Reichweite der α-Strahlung in Luft nur etwa 4 cm beträgt.

Es bestehen nach Ansicht Zwaardemakers zwei elektrische Nullpunkte. Der eine entspricht dem ladungslosen Zustande, der andere einem Gleichgewicht, in dem die Ladungen ansehnlich sein können, aber sich gegenseitig aufwiegen.

Diese Wirkung der genannten radioaktiven Stoffe konnte durch Zusatz von Fluoreszein und Eosin sensibilisiert werden. Dabei bestand auch hier ein Gegensatz insofern, als das Fluoreszein auf die α-Strahlen sensibilisierend wirkte, das Eosin auf die β-Strahlen. Bei gleichzeitigem Zusatz beider Substanzen trat keine Aufhebung ihrer Wirkung ein, vielmehr wurde die Wirkung dann völlig von dem Eosin beherrscht. Eine Abhängigkeit dieser Sensibilisierung von Belichtung war nicht nachweisbar.

Ähnliche Resultate wie am Froschherzen wurden auch gefunden für die Skelettmuskulatur, Gefäßmuskulatur, Gefäßendothelien und das Glomerulusepithel der Niere (Hamburger).

Diese Versuche von Zwaardemaker und seinen Mitarbeitern haben zu lebhaften Kontroversen geführt. R. F. Loeb (255) fand, daß Rubidium und das nicht radioaktive Cäsium das Kalium in Lösungen, in denen sich Arbaziaeier zur Blastula entwickelten, nahezu quantitativ ersetzen konnten. Wurde aber das Kalium durch Thoriumchlorid oder Uranylazetat in an sich ungiftigen Konzentrationen ersetzt, so starben die befruchteten Eier ab. Ähnliches fand Jacques Loeb (256) für Funduluseier und schloß, daß die physiologische Wirkung des Kaliums nicht mit der Radioaktivität dieses Elementes zusammenhängt.

Zu dem gleichen Schlusse kam Peters (257), der in Kulturmedien von Colpidium Kalium nicht durch Uran ersetzen konnte. Clark (258) konnte auch beim Froschherzen die Vertretung des Kaliums durch Uran nicht feststellen, ein Befund, den Zwaardemaker (259) auf falsche Dosierung zurückführt.

Auch Zondek (260) wendet sich gegen die Versuche Zwaardemakers. Er ließ Radiumemanation in stark variierten Mengen zwischen 100 und 15000 M. E. auf das

isolierte Froschherz wirken, sah aber keinen Effekt. Wenn man bedenkt, daß eine geringfügige Erhöhung des Kaligehaltes, also nach Zwaardemaker der β-Strahlen, zum Herzstillstand führt, so sei es höchst auffällig, daß der gewaltige Überschuß an α-Strahlung, der in einer Emanation von 15000 M. E. enthalten ist, ohne Effekt sein soll. Jedenfalls ließe sich dies nicht mit der Theorie Zwaardemakers vereinigen. Ebensowenig konnte Zondek bei mannigfaltigsten Variationen der Dosen durch Urannitrat und Radiumemanation den diastolischen Herzstillstand beeinflussen. Wohl kehrte in einigen Fällen für einige Zeit die Automatie des Herzens wieder, aber nicht anders als bei Kontrollherzen, denen radioaktive Substanz nicht zugeführt war. Auch bei Durchspülung von Herzen mit kalifreier Ringerlösung, die aber von Anfang an Uran oder Emanation in den verschiedensten Konzentrationen enthielt, konnte der Eintritt des Herzstillstandes nicht einmal hinausgeschoben werden. Ebensowenig konnte der durch erhöhte Kalizufuhr bewirkte Stillstand des Herzens durch gleichzeitige Zufuhr eines antagonistischen α-Strahlers verhindert werden. Schließlich wendet sich Zondek mit Recht gegen die Hypothese der „biologischen" Radioaktivität des physikalisch nicht nachweisbar radioaktiven Cäsiums.

Andererseits hat Soref (261) Versuche mitgeteilt, die geeignet sind, die Anschauung Zwaardemakers zu stützen. Er fand eine tonuserhöhende Wirkung des Chlorkaliums auf die überlebende Muskulatur des Uterus von Meerschweinchen. Ebenso wirkte auch Annäherung eines Mesothoriumpräparates. Rubidium konnte Kalium in äquoradioaktiver Dosis ersetzen. Uran und Thorium erwiesen sich als weniger wirksam.

Zwaardemaker und Feenstra (262) suchen den Einwand zu widerlegen, daß es sich bei dem Ersatz des Kaliums durch andere Elemente um Ionenäquilibrierung handelt. In Versuchen an Kröten- und Schlangenherzen wurde das Kalium einer Ringerlösung durch Radiumemanation ersetzt. Trotz gleichen Kalziumgehaltes hatte die Emanation als Ersatz des Kaliums in Dosen von 36×10^{-10} bis 360×10^{-10} die gleiche Wirkung. Es bestand also zwischen Kalzium und Emanation kein Gleichgewicht.

Raad (263) hat in einer Doktordissertation aus dem Laboratorium Zwaardemakers die gleichen Verhältnisse betreffs der Rolle des Kaliums und der Radioaktivität wie am Herzen für die Automatie der Uterusmuskulatur von Kaninchen, Meerschweinchen und Mäusen gefunden. Nach Halbertsma (264) steht auch das Zusammenarbeiten von Muskel- und Nervenelementen im Gefäßsystem unter dem Einfluß der Radioaktivität. Zwaardemaker (265) weist zur Erklärung der abweichenden Ergebnisse anderer Autoren auf die zahlreichen Fehlermöglichkeiten bei diesen Versuchen hin.

Im Anschluß an die Versuche von Zwaardemaker hat dann Ph. Ellinger (266) Untersuchungen angestellt über die Beeinflussung der Oxydationsgeschwindigkeit von roten Blutkörperchen der Gans durch Alkalimetalle und radioaktive Substanzen. Geprüft wurden Kalium, Rubidium, Cäsium, Natrium, Uranylnitrat, Thoriumnitrat, Radiumemanation, ferner auch Fluoreszein und Eosin. Es ergab sich, daß sich die Oxydationsgeschwindigkeit mit Erhöhung des Kaliumgehaltes in der Ringerlösung bis etwa zum Dreifachen steigerte. Bei weiterer Erhöhung nahm sie wieder ab. Ebenso sank sie bei Kaliumverarmung. Das Kalium konnte durch Rubidium, aber nicht durch Cäsium ersetzt werden. Die radioaktiven α-Strahlen konnten einen Mangel an Kalium nicht ausgleichen, wirkten vielmehr schon in kleinsten Dosen schädigend. Ellinger läßt es unentschieden, ob die Rolle des Kaliums bei der Erythrozytenatmung eine Wirkung seines Ions oder seiner Radioaktivität ist. Jedenfalls gilt die Theorie Zwaardemakers für die biologische Wirksamkeit des Kaliums und seiner Ersetzbarkeit durch andere radioaktive Substanzen nicht für die von Ellinger untersuchten Funktionen.

Aus all diesen Versuchen scheint hervorzugehen, daß die Frage nach der Bedeutung der Radioaktivität des Kaliums für den Organismus zur Zeit noch nicht genügend geklärt ist.

Die Umsetzung der physikalischen Energie in biologische Wirkung.

Hiermit dürften wir einen Überblick gewonnen haben über die wichtigsten biologischen Tatsachen, die über die Wirkung des Radiums und der radioaktiven Substanzen auf den Organismus festgestellt sind. Es wäre nun die Frage zu erörtern, wie die physikalische Energie sich in biologisches Geschehen umsetzt.

Das erste Problem ist, ob die Wirkung der verschiedenen Strahlengruppen im Organismus prinzipiell die gleiche ist, also nur unterschieden durch den Grad der Absorption oder der Intensität, oder ob die Wirkung der verschiedenen Strahlengruppen der radioaktiven Substanzen von Grund aus verschieden ist, entsprechend der abweichenden physikalischen Natur der verschiedenen Emissionen. Diese Frage haben sich zuerst Aschkinass und ich (131) vorgelegt. Allerdings kannte man damals noch nicht die wahre Natur der α-Strahlung; man wußte nur, daß ein Teil der Strahlung, den Rutherford später α-Strahlung nannte, nach den Curieschen Beobachtungen nicht imstande war, Luftschichten von mehr als 4 cm zu durchsetzen. Wir haben damals Effekte auf Bakterienwachstum lediglich mit der α-Strahlung und dem weichen Anteil der β-Strahlung erzeugen können, haben aber diesen Befund sogleich dahin eingeschränkt, daß mit stärkeren Präparaten vielleicht ein anderes Resultat zu erreichen sein würde. Wir haben in unseren ersten Versuchen die verschiedenen Strahlengruppen durch Filterung voneinander getrennt. Später, als die Natur der Strahlung besser bekannt geworden war, haben wir (267) das genauere Verfahren der Trennung der verschiedenen Strahlen durch Ablenkung im magnetischen Felde vorgenommen und sind zu den gleichen Ergebnissen gelangt. Diese Ergebnisse haben im großen und ganzen auch von anderer Seite ihre Bestätigung gefunden, wenigstens insofern, als stets der weniger penetrierenden Strahlung die größte Wirksamkeit bei der Schädigung von Bakterien, Pflanzenkeimen und niederen Lebewesen zukam (v. Baeyer, 268, Pfeiffer und Friedberger, 132, Straßmann, 32). Besonders sprechen in diesem Sinne die sorgfältigen Versuche von Kuznitzky (142), der sich als erster nach uns wieder der Methode der Ablenkung im magnetischen Felde bedient hat. Letzterer Autor weist auch darauf hin, wie sehr diese Anschauung durch die negativen Ergebnisse unterstützt wird in den Versuchen, in denen nicht eine genügende Oberflächenwirkung gewährleistet wurde (Max Wolff, 144, Plesch und Mitarbeiter, 158). Das gleiche scheint auch für rein chemische Wirkungen zu gelten, worauf die Versuche von Hardy (11) hindeuten.

Mit diesen Versuchsresultaten sind zunächst einmal Unterschiede der Wirkung festgestellt. Noch nicht aber ist bewiesen, ob diese Unterschiede qualitativer oder nur quantitativer Natur sind. Auf letzterem Standpunkte stehen z. B. Gudzent und Margarete Levy (269), welche aus Versuchen mit Thorium X, Radium- und Röntgenstrahlen an den hämopoetischen Organen der Ratten zu dem Schlusse kommen, daß die Wirkungen der α- und γ-Strahlen in biologischer Hinsicht und histologischem Effekt qualitativ die gleichen sind. Obgleich ich an der Richtigkeit der Ergebnisse der Untersuchungen nicht zweifle, scheint mir doch die Schlußfolgerung nicht sicher, schon wegen der hohen allgemeinen Sensibilität gerade dieser Organe. Auch Redfield und Bright (270) kommen auf Grund von Versuchen an Nereiseiern zu dem Resultat, daß sich die Unterschiede der Wirkungen der verschiedenen Strahlengruppen auf die Verschiedenheit ihres Penetrationsvermögens zurückführen lassen.

Treffen aber die Feststellungen von Zwaardemaker und Stoklasa hinsichtlich des Antagonismus der α-Strahlen einerseits, der β-Strahlen andererseits zu, so wird man kaum daran zweifeln dürfen, daß die α-Strahlung, die ja in ihrem Wesen von der β- und γ-Strahlung außerordentlich verschieden ist, auch in ihrer biologischen Wirkung prinzipiell von den anderen Strahlengruppen abweicht.

Aber auch die β- und γ-Strahlung beruht ja auf physikalisch ganz verschiedenen Vorgängen. Die ersteren sind Elektronen, die letzteren Wellen. Ob hier hinsichtlich der biologischen Wirkungen prinzipielle Unterschiede bestehen, darüber wissen wir nichts Sicheres. Notwendig ist dies nicht, da aller Wahrscheinlichkeit nach die γ-Strahlen, ebenso wie die Röntgenstrahlen, ihre biologischen Wirkungen erst auf dem Umwege über die Elektronenbildung entfalten.

Andererseits ist ja aber diese Frage noch nicht einmal entschieden für die Differenzen zwischen harter und weicher Röntgenstrahlung. Auf die umfangreichen Diskussionen über diesen Gegenstand kann hier nur kurz hingewiesen werden.

Erschwerend kommt für all diese Untersuchungen noch hinzu die Wirkung der Sekundärstrahlen, über deren hohe Bedeutung bei dem Effekt der Radium- und Mesothoriumbestrahlung uns besonders die Untersuchungen von Krönig und Friedrich (271) unterrichtet haben. Dies führt nun endlich zu der Frage, wie man sich überhaupt den Vorgang bei der physiologischen Auswirkung des physikalischen Geschehens vorzustellen hat.

Auch über diesen Gegenstand haben Aschkinass und ich (131) meines Wissens als erste eine Vorstellung geäußert. Wir gingen dabei von der Ansicht aus, daß von den kurzwelligen Strahlen des Lichtes, den Röntgen-, Kathoden- und Becquerelstrahlen ähnliche Vorgänge ausgelöst würden. Als gemeinsame Quelle dieser Vorgänge sahen wir die dissoziierende (ionisierende) Wirkung der Strahlen an und schlossen gerade daraus, daß die Becquerelstrahlen ähnliche Effekte auch auf organisierte Substanzen hervorrufen müßten, wie sie damals bereits für die Röntgen- und ultravioletten Strahlen bekannt waren. Die Zurückführung aller dieser Vorgänge auf Ionisationswirkung ist später noch von vielen Seiten geschehen, lediglich Kuznitzky (142) hat aber, soviel ich sehen kann, dabei auf unsere alten Ausführungen Bezug genommen. Wenn heute eine große Anzahl der Autoren auf dem Standpunkte von Barcla (272) steht, daß es die sekundäre Elektronenwirkung sei, auf die alle diese Vorgänge zurückgehen, so steht dies in keinem Gegensatz zu unserer älteren Auffassung. Es verlegt den Vorgang gleichsam nur in die vorhergehende Etappe, denn es ist die Elektronenbildung, die ihrerseits die Ionisation hervorruft.

Diese Auffassung ist aber auf Grund neuerer Untersuchungen von Dessauer in Gemeinschaft mit Liesegang und Janitzky (273) einesteils zu modifizieren, andernteils führen die Gedanken Dessauers weit über das hinaus, was unsere bisherigen Vorstellungen zur Erklärung des biologischen Effektes der Strahlenwirkung leisten konnten. Dessauer stellte zunächst fest, daß eine durch Stunden durchgeführte energische Bestrahlung, die im Organismus ungeheure zerstörende Wirkung auslöst, dem Körper nur einige wenige Grammkalorien zuführt. Diese Energiemenge ist so gering, daß wir z. B. mit 1 mg Zucker dem Organismus mehr Energie einverleiben als mit einer schwer schädigenden Röntgendosis. Auf Grund dieser Erkenntnis gelangt Dessauer zu einer neuen und, wie ich glaube, außerordentlich fruchtbaren Vorstellung von der Auswirkung der Strahlen in Organismen.

Auch er akzeptiert zunächst die Elektronenbildung und den dadurch bedingten Ionisierungsvorgang. Die Ionen können aber, wie Dessauer und seine Mitarbeiter nachweisen, in dem dichten Medium, das sie in den kolloidalen Körpersubstanzen vor-

finden, nicht wie in Gasen frei wandern, sondern verfallen der sofortigen Rekombination, die zweifellos Bewegungsvorgänge der beteiligten Körper bedeutet. Dieser Abbau der Energie wirkt sich nun aus in punktförmigen, außerordentlich starken Temperaturerhöhungen, die, weil zunächst auf kleinsten Bereich konzentriert, zu Erwärmungen weit über die Koagulationstemperatur des Eiweißes führen können. Dessauer berechnet, daß diese „Punktwärmen" bei Absorption eines Röntgenstrahles innerhalb einer einzigen Zelle oder entlang einiger benachbarter Zellen zustande kommen. Besonders anschaulich wird, wie ich glaube, die Vorstellung Dessauers an einem hübschen Beispiel illustriert, das Prof. Cermak-Gießen gab. Wenn man einen Stein in einen Teich schleudert, so ändert sich das Niveau des Teiches nur ganz unmerkbar. An der Stelle aber, an der der Stein in das Wasser einschlägt, spritzt das Wasser hoch auf. Hier also ist die Energie sehr bemerkbar, während sie später als Erhöhung der Temperatur und der potentiellen Energie nicht mehr nachweisbar ist.

Ich glaube, daß diese neue Theorie in der Tat geeignet ist, sehr viele Dinge, die wir oben kennengelernt haben, zu erklären. So z. B. die Radiosensibilität der Zelle mit stark reproduktiven Eigenschaften, die Empfindlichkeit des Zellkerns gegenüber dem Protoplasma und anderes mehr. Es dürften ja nach diesen Vorstellungen Gerinnungen eintreten in ganz außerordentlich begrenzten Gebieten. Daß derartige punktförmige Störungen, wenn sie das Lebenszentrum der Zelle treffen, besonders wirkungsvoll sein können, ist an und für sich klar. Sie wirken aber andererseits deswegen vielleicht mit besonderer Intensität im Kern der Zelle, weil dort eine höhere Wasserstoffionenkonzentration herrscht, wie ja aus der Affinität des Chromatins zu basischen Farbstoffen hervorzugehen scheint (Nukleinsäure). Die Koagulationstemperatur liegt aber innerhalb gewisser Grenzen, um so tiefer, je höher die Wasserstoffionenkonzentration ist. Ebenso könnte der Unterschied in der Radiosensibilität ruhenden lufttrockenen Pflanzensamens und der Keimlinge der gleichen Art in dieser Weise leicht geklärt werden. Petry (122) hat in seinen exakten Versuchen nachgewiesen, daß für die Erhöhung der Radiosensibilität bei der Keimung dem Zustande der Quellung eine wesentliche Bedeutung zukommt. Petry macht selbst darauf aufmerksam, daß, wie Lewith (274) gezeigt hat, die Koagulationstemperatur von Eiweiß eine Funktion des Wassergehaltes ist. Petry sowohl wie Fernau und Pauli (10) bemerken wohl, wie sehr in mancher Beziehung die Strahlenwirkung der Einwirkung der Hitze ähnelt.

Ferner werden durch diese starken punktförmigen Temperatursteigerungen einige mehr oder weniger winzige Teile der Zelle zerstört und nekrotisch. Über die Reizwirkung, die die dabei in Freiheit gesetzten „Nekrohormone" innerhalb der Zelle entfalten, haben uns die bedeutsamen Untersuchungen von Haberlandt (173) unterrichtet. Die endozellulären Nekrohormone scheinen sich ebenfalls zunächst am Zellkern auszuwirken. Sind die Schädigungen der Einzelzelle so groß, daß die Gesamtzelle zerfällt, oder zerfallen eine größere Anzahl von Zellen, so treten die Nekrohormone als Zellzerfallshormone in die Blutbahn und bewirken von hier aus die Allgemeinreaktion, die ich als eine charakteristische Wirkung der Strahlung dargelegt habe.

Diese wenigen Bemerkungen sollen nur ein Schlaglicht werfen auf die Bedeutung dieser Theorie Dessauers für die Erklärung des biologischen Geschehens unter dem Einflusse der Strahlung. Im einzelnen darauf einzugehen, erlauben mir die schon weit überschrittenen Raumverhältnisse an dieser Stelle nicht.

Literatur.

1. Paul Lazarus, Handb. d. Radiumbiologie u. -therapie. Wiesbaden bei J. F. Bergmann, 1913.
2. W. Falta, Die Behandlung innerer Krankheiten mit radioaktiven Substanzen. Berlin bei Julius Springer, 1918.
3. C. Neuberg, im Handbuch von Lazarus, l. c. 1.
4. Gudzent, D. m. W. Nr. 21, 1909; Verh. d. Kongr. f. inn. M. 1910, 539; Radium in Biologie u. Heilkunde 1, 14, 1911, usw.
5. Bechhold und Ziegler, B. kl. W. 1910, 712.
6. Kerb und Lazarus, Bioch. Zschr. 42, 82, 1912.
7. v. Knaffl-Lenz und Wiechowski, Zschr. f. physiol. Chem. 77, 303, 1912.
8. Caspari und Neuberg, B. kl. W. 1912, Nr. 11.
9. v. Körösy, Pflüg. Arch. 137, 123, 1911.
10. Fernau und Pauli, Bioch. Zschr. 70, 426, 1915; Kolloidzschr. 20, 20, 1917; Kolloidzschr. 30, 6, 1922.
11. Hardy, Proceedings of the physiol. society 6, V, 1903.
12. Mesernitzky, C. r. Acad. 154, 770, 1912; Le Radium 9, 145, 1912.
13. Falta und Zehner, B. kl. W. 1912, 2444.
14. Plesch, B. kl. W. 1913, 165.
15. Falta und Zehner, B. kl. W. 1913, 395.
16. G. Schwarz, Pflüg. Arch. 100, 532, 1903.
17. Wohlgemuth, B. kl. W. 1904, 704.
18. Loewenthal, B. kl. W. 1910, 287.
19. Arzt und Kerl, W. kl. W. 1913, 530.
20. v. Knaffl-Lenz, Zschr. f. Balneol. usw. 5, 403, 1912.
21. Thies, Mitt. a. d. Grenzgeb. d. Med. u. Chir. 14, 694, 1905.
22. Schwarz und Zehner, D. m. W. 1912, 1776.
23. Neuberg und Karczag, Das Radium in Biologie u. Heilkunde 2, 116, 1913.
24. Fernau und Pauli, Kolloidzschr. 30, 6, 1922.
25. Walkhoff, Photograph. Rundschau 1900.
26. Giesel, Chem. Berichte 33, 3569, 1900.
27. Becquerel und Curie, C. r. Acad. 132, 1289, 1901.
28. Caspari, Verh. d. physiol. Ges. in Berlin November 1901.
29. Exner und Holzknecht, Sitzungsber. d. Wien. Akad. d. Wissensch. Juli 1903.
30. Halkin, Arch. f. Dermat. u. Syphilis, Bd. 65, 1903.
31. Scholtz, D. m. W. 1904, 94.
32. Straßmann, Arch. f. Dermat. u. Syphilis 71, 419, 1904.
33. Werner, Zbl. f. Chir. 1904, 1233.
34. Guyot, Zbl. f. allg. Path. 20, 243, 1909.
35. Kaiserling in Lazarus' Handbuch l. c. 1.
36. Rost, Strahlentherapie 6, 269, 1915.
37. Thaler, D. Zschr. f. Chir. 79, 576, 1905.
38. Grasnick, Arch. f. mikrosk. Anat. 40, 1, 1918.
39. Albers-Schönberg, M. m. W. 1903, 1889.
40. Bergonnié und Tribondeau, C. r. Soc. biol. 57, 400, 595, 1904.
41. Halberstaedter, B. kl. W. 1905, 64.
42. Simmonds, D. m. W. 1913, 2291.
43. Schiffmann, Zbl. f. Gynäkol. 1914, 760.
44. Rost und Krüger, Strahlentherapie 4, 382, 1914.
45. London, Das Radium in der Biologie u. Medizin. Leipzig, Akad. Verlagsgesellschaft, 1911.
46. Bohn, C. r. Soc. biol. 136, 1442, 1903.
47. Obersteiner, W. kl. W. 1904, 1049.
48. Horsley und Finzi, Brit. med. journ. X, 898, 1911.
49. v. Knaffl-Lenz, W. kl. W. 1912, 441.
50. Morowoka und Mott, Histological examination of the brains of animals exposed to the gamma-rays of radium. Med. research council, London 1922.
51. O. Hertwig, in Lazarus' Handbuch l. c. 1.
52. O. Levy, Arch. f. Entw. Mech. 21, 100, 1906.
53. H. E. Schmidt, Arch. f. mikroskop. Anat. 71, 248, 1908.
54. Bagg, Amer. journ. of anat. 30, 133, 1922.

55. Okada, Arb. a. d. neurol. Instit. Wien, Bd. 12, 1905.
56. E. S. Redfield, A. C. Redfield und Forbes, Amer. journ. of physiol. 59, 203, 1922.
57. Darier, Semaine méd. 1903, 330; 1904, 51.
58. Lazarus-Barlow, Med. research. council, London 1922.
59. Seitz u. Wintz, Verh. d. D. Ges. f. Gynäk. 1920, 172.
60. Caspari, Biologische Grundlagen zur Strahlentherapie bösartiger Geschwülste. Bei Steinkopff. Dresden 1922.
61. Heinecke, M. m. W. 1904, 1382; Mitt. a. d. Grenzgeb. d. Med. u. Chir. 14, 21, 1905; D. Zschr. f. Chir. 78, 196, 1905.
62. Krause und Ziegler, Fortschr. f. Röntgenstr. 10, 126, 1906/07.
63. Aubertin und Baujard, C. r. Soc. biol. 64, 410, 1908.
64. Bouchard, Curie und Balthazard, C. r. Acad. 138, 1384, 1904.
65. v. Noorden und Falta, M. Kl. 1911, 1487.
66. Falta, Kriser und Zehner, W. kl. W. 1912, 12.
67. Pappenheim und Plesch, Zschr. f. exper. Path. u. Ther. 12, 95, 1912.
68. Hirschfeld und Meidner, Zschr. f. klin. Med. 77, 417, 1913.
69. Gudzent, Strahlentherapie 2, 467, 1913.
70. Heinecke, M. m. W. 1913, 2657.
71. Schweitzer, M. m. W. 1916, 341.
72. Siegel, Strahlentherapie 11, 64, 1920.
73. Adele Hartmann, Arch. f. Entw. Mech. 47, 131, 1921.
74. Zöllner, Strahlentherapie 9, 607, 1912.
75. Aubertin und Delamare, C. r. Soc. biol. 64, 437, 1908.
76. Heineke, M. m. W. 1914. 807.
77. Russ, Chambers, Scott und Mottram, Lancet 1919, 692.
78. Mottram und Russ, Journ. of exp. med. 34, 271, 1921.
79. Ada Wagner, Strahlentherapie 11, 140, 1920.
80. Margarete Levy, Radium in Biol. u. Heilkunde 1, 256, 1912; 2, 9, 1913.
81. Gudzent, Strahlentherapie 2, 467, 1913.
82. Caspari, Zschr. f. Krebsforsch. 19, 74, 1922 und D. m. W. 1923, Nr. 9.
83. Helber und Linser, M. m. W. 1905, 689.
84. Curschmann und Gaupp, M. m. W. 1905, 2409.
85. Klieneberger und Zoeppritz, M. m. W. 1906, 850.
86. Quadrone, Zbl. f. innere Med. 1905, Nr. 21 u. 24.
87. Kaznelson und Lorant, M. m. W. 1921, 182.
88. Fernau, Schrammel und Zarzycki, Strahlentherapie 3, 333, 1913.
89. v. Jagic, Schwarz und v. Siebenrock, B. kl. W. 1911. 1220.
90. Mottram, Arch. of radiol. a. electrotherap. 25, 197, 1920.
91. Hermann Freund und Dresel, Arch. f. exper. Path. u. Pharm. 91, 317, 1922.
92. Cramer, Drew und Mottram, Proc. of the Royal soc. Ser. B. 93, 449. 1922.
93. van den Velden, D. Arch. f. klin. M. 108, 377, 1912.
94. Kohorn, zitiert nach Falta, l. c. 2.
95. Salle und v. Domarus, Zschr. f. klin. Med. 78, 231. 1913.
96. Grineff, Strahlentherapie 3, 94, 1913.
97. Stephan, Strahlentherapie 11, 517, 1920.
98. Henri und Mayer, C. r. Soc. biol. 1903 1412.
99. Henri und Mayer, C. r. Soc. biol. 1903. 1414.
100. Salomonsen und Dreyer, C. r. Acad. 138, 1543, 1904.
101. Hausmann, Strahlentherapie 9, 46, 1919.
102. Hausmann und Kerl, Strahlentherapie 11, 1027, 1920.
103. Brill und Zehner, B. kl. W. 1912, 1261.
104. Loewy und Plesch. B. kl. W. 1911, Nr. 14.
105. Lazarus, B. kl. W. 1912, Nr. 48.
106. Bergonnié und Tribondeau, C. r. Acad. 143, 983. 1906.
107. Voltz, Fortschr. f. Röntgenstr. 1922, Aprilheft.
108. Lazarus, Verh. Berl. m. Ges. 1912, II, 128.
109. Bossart, Inaug.-Dissert. Basel 1902.
110. Zahlreiche Untersuchungen im Arch. f. mikrosk. Anat. u. d. Verh. d. Berl. Akad. d. Wissenschaften. Zusammenfassende Darstellung von O. Hertwig in Lazarus' Handbuch l. c. 1 von G. Hertwig, Strahlentherapie 11, 821. 1920.

111. Körnicke, Ber. d. Dtsch. bot. Ges. 22, 148 u. 155, 1904; 23, 324 u. 404, 1905.
112. Guilleminot, Journ. de phys. et path. 1908, Nr. 1, S. 10.
113. Bohn, C. r. Acad. 136, 1012, 1903.
114. Schaper, D. m. W. 1904, 1434, 1465.
115. Perthes, D. m. W. 1904, 632.
116. Paula Hertwig, Arch. f. mikroskop. Anat. 77, 301, 1911.
117. Bardeen, Anat. record, Bd. 3, 1909; Amer. journ. of anat., Bd. 11, 1910/11.
118. Jean Tur, C. r. Soc. biol. 1904, 236.
119. O. Hertwig, Arch. f. mikroskop. Anat. 82, 2. Abt. 1, 1913.
120. Oppermann, Arch. f. mikrosk. Anat. 83, Abt. II, 141, 1913.
121. Haecker und Lebedinsky, Arch. f. mikroskop. Anat. 85, 555, 1914.
122. Petry, Biochem. Zschr. 119, 23 1921; 128, 326, 1922.
123. Holthusen, Pflüg. Arch. 187, 1, 1921.
124. Ehrlich, Arch. f. Schiffs- u. Tropenhyg. 13, 91, 1909.
125. Halberstaedter, B. kl. W. 1914, 252.
126. v. Wassermann, D. m. W. 1914, 524.
127. Neißer und Wechsberg, Zschr. f. Hygiene 36, 299, 1900.
128. Heinecke, M. m. W. 1914, 807.
129. Prime, Journ. of Cancer Research 2, 107. 1917.
130. Prime und Wood, Strahlentherapie 13, 628, 1922.
131. Aschkinass und Caspari, Pflüg. Arch. 86, 603, 1901.
132. Pfeiffer und Friedberger, B. kl. W. 1903, 641.
133. Danysz, C. r. Acad. 136, 461, 1903; 137, 1296, 1903; 138, 461, 1904.
134. Hoffmann, Hygien. Rundschau 1903, 914.
135. Scholtz, D. m. W. 1904, 94.
136. Goldberg, zitiert nach London, l. c. 45.
137. Dorn, Baumann und Valentiner, Zschr. f. Hygiene 51, 328, 1905.
138. Jansen, Zschr. f. Hygiene 67, 135, 1910.
139. Kalmann, W. kl. W. 1905, 565.
140. Werner, M. m. W. 1905, 1625.
141. Mme. u. G. Fabre, Int. Kongr. f. Radiol. 2, 35, Brüssel 1911.
142. Kuznitzky, Zschr. f. Hygiene 88, 261, 1919.
143. Sueß, Zschr. f. Tuberkuloseforsch. 12, 480, 1908.
144. Max Wolff, Verh. Berl. m. Ges. 1912, 1, 73.
145. Ghilarducci, Strahlentherapie 5, 284, 1914.
146. Cluzet, Rochaix und Kofmann, C. r. Soc. biol. 83, 1043, 1920.
147. Bouchard und Balthazard, C. r. Acad. 142, 819, 1906.
148. Körnicke, Ber. d. Dtsch. bot. Ges. 22, 155, 1904.
149. Omeliansky, zitiert nach London, l. c. 45.
150. Stoklasa, Zbl. f. Bakt. 40, 266, 1914; Strahlentherapie 4, 1, 1914.
151. Caspari, B. kl. W. 1903, 1180 und Arb. d. Kgl. Landw. Hochschule zu Berlin, Festschr. Thiel, Berlin bei Paul Parey, 1909.
152. Flemming und Krusius, D. m. W. 1911, 1600.
153. Max Wolff, Verh. Berl. m. Ges. 1912, 101.
154. Wickham, Annal. de dermatol. et de syphilis 7, 817, 1906.
155. Werner, M. m. W. 1905, 1625.
156. Dauphin, C. r. Acad. 138, 154, 1904.
157. Fürstenberg und Höstermann, M. Kl. 1911, 815.
158. Plesch, Karczag und Keetman, Zschr. f. exper. Path. u. Ther. 12, Heft 1, 1912.
159. Wilcock, Journ. of physiol. 30, 440, 1904.
160. Margarete Zuelzer, Arch. f. Protistenkunde 5, 358, 1905.
161. H. Becquerel, C. r. acad. 33, 712, 1903.
162. Körnicke, Ber. d. Dtsch. bot. Ges. 23, 324, 1905.
163. Stein, Zschr. f. indukt. Abstammungs- u. Vererbungslehre 29, 1, 1922.
164. Bickel und King, B. kl. W. 1912, 1665.
165. Falta und Schwarz, B. kl. W. 1911, 605.
166. Molisch, Sitzungsber. d. K. Akad. d. Wissensch. in Wien, math.-naturwissenschaftl. Klasse Abt. I, 121, 1912.
167. Molisch, ebd. S. 833.
168. Stoklasa, Bioch. Zschr. 108, 109 u. 140, 1920.

169. Hébert und Kling, C. r. Acad. 149, 230, 1909.
170. Körnicke, Ber. d. Dtsch. bot. Ges. 23, 404, 1905.
171. Fabre, C. r. Soc. biol. 1911, I, 419.
172. Dautwitz, Zschr. f. Heilkunde 27, 87, 1906.
173. Haberlandt, Biol. Zbl. 42, 145, 1922.
174. Bohn, C. r. Acad. 136, 1085, 1903.
175. Caspari, D. m. W. 1923, Nr. 9.
176. Bickel, in Lazarus' Handbuch l. c. 1.
177. Minami, B. kl. W. 1911, 1798.
178. Gudzent, Strahlentherapie 4, 666, 1914.
179. Falta und Zehner, B. kl. W. 1912, 2444; 1913, 395.
180. Neuberg, Zschr. f. Krebsforsch. 2, 171, 1904.
181. Wohlgemuth, Verh. d. D. path. Ges. 1904, 158.
182. Derselbe bei Bickel, l. c. 176.
183. Loewenthal und Edelstein, Bioch. Zschr. 14, 484, 1908.
184. Bickel und Minami, B. kl. W. 1911, 1413.
185. Gudzent, Radium in Biologie u. Heilkunde 1, 14, 1912.
186. A. Schulz, Bioch. Zschr. 48, 86, 1913.
187. Starenstein, Bioch. Zschr. 106, 139, 1920.
188. Gudzeknt, Therap. d. Gegenwart, Dez. 1910.
189. Gudzent, Maase und Zondek, Zschr. f. klin. Med. 86, H. 1/2, 1919.
190. Danycz, C. r. Acad. 138, 461, 1904.
191. Goldberg, bei London, l. c. 45.
192. Reiter, Zschr. f. Immunitätsforsch. Orig. 18, 5, 1913.
193. v. Klecki, Zschr. f. Immunitätsforsch. Orig. 13, 589, 1912.
194. Schütze, M. Kl. 1911, 1729.
195. H. Lippmann, Zschr. f.exper. Path. u. Ther. 16, 1914.
196. Derselbe, Zschr. f. Immunitätsforsch. 24, 107, 1914.
197. Caspari, Ztschr. f. Krebsf. 19, 74, 1922.
198. Verh. d. Röntgenologen-Kongresses in München 1923.
199. Laewen, Mitt. a. d. Grenzgeb. d. Med. u. Chir. 19, 141, 1919.
200. Benjamin und Sluka, W. m. W. 1908, 311.
201. Fraenkel und Schillig, B. kl. W. 1913, 1299.
202. Chambers und Russ, Proc. of the Royal soc. of med. V, Path. sect. S. 193, 1912.
203. Halban, Zbl. f. Gynäk. 1914, 466.
204. Salle und v. Domarus, Strahlentherapie 3, 89, 1913.
205. Stettner, D. m. W. 1919, 1314.
206. Poos, Kl. W. 1922, 836.
207. Fraenkel und Geller, B. kl. W. 1921, 565.
208. Loewy, B. kl. W. 1912, 109.
209. Th. A. Maaß, Verh. d. Berl. physiol. Ges. Juni 1911.
210. Maaß und Plesch, Zschr. f. exper. Path. u. Ther. 12, H. 1, 1912.
211. Tsiwidis, Pflüg. Arch. 148, 264, 1912.
212. Silbergleit, B. kl. W. 1908, 13.
213. Derselbe, ebd. 1909, 1205.
214. Kikkoji, Radium in Biologie u. Heilkunde 1, 46, 1912.
215. Bernstein, Strahlentherapie 1, 402, 1912.
216. v. Benczúr und Fuchs, Zschr. exper. Path. u. Ther. 12, 564, 1913.
217. Theis und Bagg, Journ. of biol. chem. 41, 525, 1920.
218. Gudzent und Loewenthal, Zschr. f. klin. Med. 71, 304, 1911.
219. Wilke, Zschr. f. physik. diät. Ther. 13, 430, 1904.
220. Elster und Geitel, Annal. d. Physik 2, 425, 1900.
221. Wilson, Proc. Cambridge Phil. Soc. 11, 32, 1900.
222. Ebert, Ber. d. Münch. Akad. d. Wissenschaften 30, 511, 1900; 31, 35, 1901.
223 Zuntz, Loewy, Müller, Caspari, Höhenklima und Bergwanderungen in ihrer Wirkung auf den Menschen. Bei Bong u. Co., Berlin 1906.
224. Elster und Geitel, Physik. Zschr. 2, 590, 1902.
225. Rutherford, Radioaktive Substanzen und ihre Strahlungen. In Erich Marx' Handb. d. Radiologie, Bd. 2.
226. Dember, Abh. d. naturwissenschaftl. Ges. „Isis“ in Dresden 1912, H. 2.

227. Dorno, Studie über Licht und Luft des Hochgebirges. Braunschweig bei Friedr. Vieweg u. Sohn 1911.
228. Elster und Geitel, l. c. 224 u. Physik. Zschr. 4, 1903; 5, 1904.
229. Allan, Philosoph. mag. Bd. 7, 140, 1904.
230. Bumstead, Am. journ. of science 18, 1, 1904.
231. Saake, Physik. Zschr. 4, 1903.
232. Czermak, Physik. Zschr. 3, 185, 1902.
233. Knoche, Verh. Berl. m. Ges. 41, 134, 1910.
234. Elster und Geitel, Physik. Zeitschr. 2, 560, 1901; Geitel, ebd. 2, 116, 1900.
235. Caspari, ebd. 3, 521, 1902.
236 Durig und Zuntz, Arb. a. d. Intern. Inst. f. Hochgebirgsforsch. Monte Rosa 1913, cf. auch l. c. 223.
237. A. Loewy, Verh. Berl. m. Ges. 41, I, 77, 1910.
238. Grabley, Zschr. f. klin. Med. 71, 338, 1910.
239. Gudzent, Radium in Biologie und Heilkunde 1, 79, 1911/12.
240. Plesch, Verh. d. Berl. Physiol. Ges. Juni 1911.
241. Strasburger, B. kl. W. 1912, 387.
242. Lazarus, ebd. S. 1187.
243. Ramsauer und Holthusen, Sitzungsber. d. Heidelberger Akad. d. Wissenschaften 3, 1, 1913; Holthusen, Strahlentherapie 2, 503, 1913; Ramsauer, ebd. S. 515.
244. Plesch, B. kl. W. 1912, 930.
245. Bouchard und Balthazard, C. r. acad. 142, 198, 1906.
246. Ramsauer und Caan, M. m. W. 1911. 1757.
247. Engelmann, M. m. W. 1913, 992.
248. Brill, Kriser und Zehner, Strahlentherapie 1, 347, 1912.
249. Metzener, Zschr. f. klin. Med. 77, 394, 1913.
250. Gudzent und Herschfinkel, Strahlentherapie 7, 519, 1916.
251. Campbell und Wood, Proc. Cambridge philos. soc. 14, 5, 1906.
252. Büchner, Sitzungsber. d. Niederländ. Akad. d. Wissenschaften, Amsterdam 18, 91, 1909; 20, 1338, 1912.
253. Stoklasa und Mitarbeiter, Bioch. Zschr. 108, 173, 1920.
254. Zwaardemaker und Mitarbeiter, zahlreiche Publikationen, vorwiegend in den Verh. d. Niederl. Akad. d. Wissenschaften. Deutsche Zusammenfassung von Zwaardemaker, Pflüg. Arch. 173, 28, 1919.
255. R. F. Loeb, Journ. of gen. physiol. 3, 229, 1920.
256. Jacques Loeb, Journ. of. gen. physiol. 3, 237, 1920.
257. Peters, Journ. of physiol. 54, 51, 1921.
258. Clark, ebd. S. 15.
259. Zwaardemaker, ebd. 55, 33, 1921.
260. Zondek, Bioch. Zschr. 120, 76, 1921.
261. Soref, Journ. of physiol. 54, 83, 1921.
262. Zwaardemaker und Feenstra, C. r. soc. biol. 84, 377, 1921.
263. Raad, Dissertation Utrecht 1922. Zitiert nach Ber. üb. d. ges. Physiol. 15, 7, 1923.
264. Halbertsma, Dissertation Utrecht 1922. Zitiert nach Ber. üb. d. ges. Physiol. 14, 377, 1922.
265. Zwaardemaker, Pflüg. Arch. 193, 317, 1922.
266. Ph. Ellinger, Zschr. f. physiol. Chem. 116, 266, 1921.
267. Aschkinass, 74. Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte in Breslau 1904.
268. v. Baeyer, Zschr. f. allg. Physiol. Bd. 4, 79, 1904.
269. Gudzent und Margarete Levy, Strahlentherapie 8, 53, 1917.
270. Redfield und Bright, Journ. of physiol. 55, 61, 1921.
271. Krönig und Friedrich, III. Sonderband zur Strahlentherapie. 1918.
272. Barcla, Phil. trans. 204, 467, 1905.
273. Dessauer, Dosierung und Wesen der Strahlenwirkung in der Tiefentherapie. Bei Steinkopff, Dresden 1923. Zschr. f. Physik 1923, 38.
274. Lewith, Zbl. f. Physiol. 11, 382, 1890.



B.
Spezielle Physiologie



Spezielle Klimaphysiologie.

A. Binnenklima.

Von Prof. Dr. **Franz Müller** (Berlin).

Einleitung.

Nachdem in den vorstehenden Kapiteln die physiologisch bedeutsamen Klimafaktoren schon in umfassender Weise behandelt sind, bleibt für die Einzelbetrachtung der verschiedenen Klimate nur wenig tatsächliches Material übrig. Gerade die nicht ausgesprochen differenten Klimate üben naturgemäß auf die Körperfunktionen eine nur geringfügige Wirkung aus. So ist es verständlich, daß kaum irgendwelche physiologischen Untersuchungen vorliegen, aus denen die Wirkung der Gesamtheit der Klimafaktoren, etwa des Binnenklimas oder des Waldklimas, gegenüber dem Aufenthalt in der Großstadt mit absoluter Gewißheit abgeleitet werden kann. Denn wenn selbst einmal vergleichende Beobachtungen angestellt wurden, wie etwa die von Franz Müller[1]) an einer größeren Anzahl von Kindern der arbeitenden Bevölkerung, die sich zuerst im Elternhaus und dann in einer Walderholungsstätte in Kiefernwald nahe von Berlin befanden, so bleibt es außerordentlich schwer, mit Sicherheit zu entscheiden, ob zutagetretende Veränderungen nun in der Tat die Folge des Klimawechsels oder vielleicht überhaupt nur der Freiheit vom Schulbesuch oder dem Fernsein der gewohnten Umgebung, also dem Milieuwechsel, zur Last zu legen sind. Während extreme Änderungen von Feuchtigkeit, Temperatur usw. die Körperfunktionen deutlich beeinflussen, wirken bei dem Gesamteinfluß eines nicht ausgesprochenen Klimas erregende und beruhigende Momente gegeneinander und machen starke Funktionsänderungen an sich schon unwahrscheinlich. Somit beschränken sich die folgenden Kapitel, soweit sie nicht das See-, Hochgebirgs- und Polarklima behandeln, auf eine mehr allgemeine Betrachtung von Möglichkeiten, auf Anregungen und Ausblicke, als auf die Aufzählung zahlreicher sicherer Tatsachen.

1. Definition des Binnenklimas.

Im ersten Bande des grundlegenden Werkes von van Oordt über „Physikalische Therapie innerer Krankheiten"[2]) sind die binnenländischen Klimate eingeteilt in das

---

[1]) O. Helwig und Franz Müller, Die Wirkung des Ostseeklimas in physiologischer Hinsicht. Veröffentl. d. Zentralstelle f. Balneol. Bd. I Heft XI, 1.

Franz Müller, Der Kraftwechsel des Schulkindes aus den arbeitenden Klassen in der Großstadt, ebenda Bd. II S. 277.

Derselbe, Der Einfluß des Aufenthalts in einer Walderholungsstätte nahe der Großstadt auf den Stoffwechsel und das Wachstum von Schulkindern aus den arbeitenden Klassen, ebenda Bd. II S. 293.

[2]) Verlag Springer, 1920.

Klima der Niederungen und geringen Höhenlagen und in binnenländische Klimate mit hervortretender Eigenschaft der Höhenlage. Das erste ist weiter geteilt in das warmfeuchte Binnenlandklima, das mäßig warmfeuchte und das trockenwarme Klima der binnenländischen Niederungen. Beim binnenländischen Klima mit hervortretender Eigenschaft der Höhenlage wird das Klima des vegetationsreichen Mittelgebirges von etwa 400—1000 m getrennt vom Hochgebirgsklima von etwa 1000—2500 m.

Ich behandle daher das Binnenklima nur als das Klima der Niederungen mit verschieden starkem Feuchtigkeitsgehalt und überlasse die Behandlung des trockenwarmen Klimas dem Kapitel „Wüstenklima". Zu dem warmfeuchten Klima der Niederungen rechne ich das gewisse Besonderheiten bietende Klima der Großstadt, dem ein Unterabschnitt gewidmet ist. Unter Waldklima werde ich dann das Klima der vegetationsreichen Niederung und des vegetationsreichen Mittelgebirges bis etwa 1000 m besprechen.

2. Die medizinische Klimatologie des Binnenklimas.

Im ersten Band dieses Handbuchs hat E. Alt die Physik des Klimas vom Standpunkt des Meteorologen besprochen und sich bemüht, den Bedürfnissen der medizinischen Kreise entgegenzukommen. Seitdem sind die tiefgründenden und von reichem biologischen Verständnis erfüllten klimatologischen Arbeiten C. Dornos erschienen, die in Übereinstimmung mit den medizinischen von N. Zuntz, A. Loewy, Franz Müller und B. Berliner betonen, wie sehr die Bedürfnisse des balneologischen Forschers und Praktikers von den Interessen des reinen Meteorologen abweichen. Es zeigt sich immer wieder, wieviel an medizinisch-klimatologischer Arbeit noch zu tun ist, und daß außer den Dornoschen Aufzeichnungen in Davos, denen von K. Kaehler[1]) in Kolberg und den spärlichen, nur gelegentlich physiologischer Beobachtungen gemachten von B. Berliner und Franz Müller in Zinnowitz[2]) kaum Grundlagen für eine medizinische Klimatik vorliegen. Für das Binnenklima fehlen viele medizinisch wichtige klimatologische Aufzeichnungen. Auch rein medizinisch ist die Ausbeute über die Wirkung des Binnenklimas äußerst spärlich. Längere vergleichende Beobachtungsreihen der Körperfunktionen und des Stoffwechsels liegen nur in den Stoffwechselversuchen der N. Zuntzschen Monte-Rosa-Expedition für die Zeit vor, in der die Teilnehmer sich in Brienz (600 m) aufhielten[3]).

Folgende Faktoren des Binnenklimas sind medizinisch von besonderer Bedeutung: a) Die relative Feuchtigkeit, b) die täglichen Temperaturschwankungen, c) die Windstärke, d) die Besonnung.

Die physikalischen Eigenschaften des Wassers und der festen Erdsubstanz bestimmen das Klima in so bedeutendem Grade, daß man danach Land- und Seeklima trennt. Dem Landklima ist unter allen Breiten eine große jährliche und tägliche Wärmeschwankung gemeinsam. Das Landklima hat extreme, das Seeklima gemäßigte Temperaturverhältnisse. Zwischen Tag und Nacht, zwischen Sommer und Winter bestehen im Landklima große Temperaturgegensätze. Die mittlere Windstärke ist geringer, der Niederschlag, insbesondere in der kalten Jahreszeit, weniger häufig, die Luft trockner und oft staubreicher als im Seeklima. Medizinisch

---

[1]) Abhandlg. des Preuß. Meteorol. Inst. Bd. VII. Nr. 2 (1920) und Veröffentl. d. Zentralstelle f. Balneol. (Nov. 1920).

[2]) Veröffentl. d. Zentralstelle f. Balneol. Bd. I Heft V S. 3.

[3]) N. Zuntz, A. Loewy, Franz Müller, W. Caspari, Bergwanderungen und Höhenklima (1905, Verlag Rich. Bong).

interessiert uns der physikalisch am schärfsten definierte Wert der absoluten Feuchtigkeit, d. h. die Menge Wasserdampf, gemessen in Gramm, welche in 1 cbm Luft enthalten ist — eine Zahl, die sich in allen meteorologischen Aufzeichnungen findet — wenig. Sie ist fast identisch mit dem Dampfdruck, d. h. dem Druck, welchen der gesättigte Wasserdampf bei verschiedenen Temperaturen ausübt. Aber auch rein klimatisch ist die relative Feuchtigkeit viel eindrucksvoller, d. h. der Quotient von Lufttemperatur und Feuchtigkeit oder vorhandenem Dampfdruck und Sättigungsdruck. Medizinisch wertvoller ist die Differenz beider, d. h. die Menge Wasserdampf in Gramm, welche 1 cbm Luft bei der betreffenden Temperatur aufnehmen kann, das Sättigungsdefizit. So zeigte Dorno, daß man Mitte Juli und Mitte Oktober in Davos an gewissen Terminen übereinstimmend 40% relative Feuchtigkeit haben kann — also einen in klimatischer Hinsicht gleichwertigen Feuchtigkeitszustand der Luft — die Temperatur betrug aber im Juli +15°, im Oktober —4°. Das Sättigungsdefizit ist im ersten Fall 7,6, im zweiten 2,0, d. h. im ersten Falle konnte die Luft noch 7,6, im zweiten nur noch etwa den vierten Teil an Feuchtigkeit aufnehmen.

Aber auch diese Zahl ist für den Mediziner noch nicht ausreichend. Wir müssen vielmehr die gemessenen Feuchtigkeitswerte auf den Feuchtigkeitsgehalt der Luft bei unserer Körpertemperatur (37°) beziehen. Karl Spengler nannte den Quotienten von vorhandener und aufnahmemöglicher Feuchtigkeit die physiologische Feuchtigkeit. Dorno bevorzugt, wie ich glaube, mit Recht, die Differenz beider, das physiologische Sättigungsdefizit[1]). Es gibt direkt an, wieviel Wasser ein jeder Kubikmeter eingeatmeter Luft dem Körper zu entziehen vermag. So sinkt bei Sirokko in Palästina die relative Feuchtigkeit auf 2%. Bei der zugehörigen Temperatur von 43° ergibt das einen physiologischen Feuchtigkeitsgehalt von 2,75%. Im Engadin sinkt die relative Feuchtigkeit im Januar um die Mittagszeit bis auf 20%, das physiologische Sättigungsdefizit auf 5%. Das zeigt, wie das Wüstenklima nicht anders als das Klima des Hochgebirgswinters dem Körper mit jedem eingeatmeten Kubikmeter Luft etwa die gleiche und besonders große Menge Wassers entzieht. Die physiologischen Feuchtigkeitszahlen sind daher viel geeigneter zur Charakterisierung eines Klimas in medizinischer Hinsicht, als die bisher fast ausschließlich verzeichneten meteorologischen Zahlen.

Die Angriffspunkte des Binnenklimas liegen in der Haut, den Atmungswegen, den Sinnesorganen und im Gesamtorganismus (osmotische Strömungen, Änderungen des Gasaustausches, der Kohlensäurespannung usw.). Vasomotorische Reflexe bewirken Umschaltungen in der Blutversorgung der Haut gegenüber dem Körperinnern, Änderungen in dem Wasseraustausch zwischen Blut und Geweben. Reizung der Haut und der Sinnesorgane beeinflußt reflektorisch die Atemmechanik und dadurch indirekt den Gasgehalt des Blutes und die Zirkulationsgeschwindigkeit.

Änderungen im relativen Feuchtigkeitsgehalt der Luft verändern die Wärmeabgabe. So vermag trocken-warme Luft dem Körper mehr Wärme zu entziehen als feucht-warme Luft. Bekanntlich wird trockene kalte Luft angenehmer empfunden als feuchte, nebelige, trotz ihrer wesentlich höheren Temperatur. Andererseits erregt trockene, warme Luft das Zentralnervensystem (Kopfweh, Benommenheit, Zerstreutheit, Reizbarkeit). Die Gefahr der Überhitzung des Körpers infolge Verminderung der Wärmeabgabe ist größer bei feuchter, heißer als bei trockener Luft. Im allgemeinen wirkt kühler Wind erfrischend, da er die Abdunstung fördert und Wärmestauung verhindert. Die normale Wärmeregulation gelingt beim Ge-

---

[1]) C. Dorno, Klimatologie im Dienste der Medizin. Sammlung Vieweg, Heft 50 (1920).

sunden und bei mäßig warmer Winterkleidung bis 10° C Lufttemperatur ohne Erhöhung der Wärmeproduktion durch Bewegung. Bis zu einem Feuchtigkeitsgrad von 80% kann man in Ruhe zwischen etwa 10—23° C durch verschiedenartige Bekleidung Behaglichkeit erreichen, bei Bewegung aber nicht mehr über 21°. — Inwieweit die innersekretorischen Organe direkt durch klimatische Einflüsse beeinflußt werden, ist noch nicht ganz geklärt. Zwar wissen wir, daß die Schilddrüse die Verbrennungsvorgänge in den Organen direkt beeinflußt, so daß schilddrüsenlose Tiere eine ungenügende Wärmeregulation haben, aber auch ohne Schilddrüse bewirkt bei Mäusen Aufenthalt in feuchtwarmer stagnierender Luft Wachstumsbehinderung und Verkümmerung der folgenden Generation, während bewegte feuchte Luft bei genügender Belichtung das Wachstum eher beschleunigt. Die Widerstandskraft gegen die Vergiftung mit Azetonnitril. die unter dem Einflusse der Schilddrüse ansteigt. ist bei feuchter Hitze eher geringer als größer. Dabei wird in der Wärme das Wachstum des Haarkleides gegenüber der Kälte angeregt[1]). Die Bedeutung der Haut als Wärmeschutz und als wärmeabgebendes Medium ist aber bei Tier und Mensch zu verschieden, als daß man aus Tierversuchen allein Schlüsse auf Klimawirkungen beim Menschen ziehen darf.

Die Beeinflussung der Psyche, die durchaus nicht unterschätzt werden darf, ist nur zum Teil rein klimatologisch zu erklären; zum Teil entzieht sie sich als Gefühlswert einer exakten Analyse.

Von großem Einfluß auf die Temperatur des Binnenklimas ist die Art des Bodens: Holz speichert Wärme, auch wenn es mit gut reflektierender weißer Farbe bestrichen ist. Schwarze Farbe bewirkt um 6° stärkere Temperaturerhöhung als Weiß. Das zeigen die folgenden Dornoschen Versuche an 6 cm hohen, zylindrischen Holzklötzen von 2 cm Durchmesser, die mit Quecksilber so weit gefüllt waren, daß es von den direkten Sonnenstrahlen nicht getroffen wurde. (In das Quecksilber tauchte ein Thermometer ein.) Zufuhr von einer Kalorie strahlender Wärme bewirkte Temperaturerhöhung:

Weiß	10,8°	Gelb	14,8°	Schwarz	16,9°
Rosa	11,0°	Rot	15,7°		

Bei Luftbewegung gehen durch Leitung 30%, bei mittlerer Bewegung etwa 60% der einstrahlenden Wärme verloren, bei den stärker absorbierenden dunklen Farben langsamer als bei den hellen. Hinzu kommt die Reflexstrahlung von Wänden der Umgebung, die bei dunkleren Farben den Wärmezuwachs um $^1/_3$, bei helleren um etwa $^1/_5$ erhöht. Nach sinkender Sonne sinkt die Temperatur der dunkelfarbigen Gegenstände entsprechend ihrem höheren Temperaturüberschuß schneller als die der hellen. Jedermann weiß, daß asphaltierte Straßen im Sommer erheblich heißer sind, als eine gleichbesonnte Wiesenfläche!. So war z. B. an einem klaren Sommertag die Luft direkt über Asphalt um 10°, die über den Trottoirplatten um 7°, die über chaussiertem Boden um 5° höher als die benachbarter Wiesen, und die Luft ½—1 m über dem Boden um 3½—4° wärmer als über der Wiese. — Der Staub eines Exerzierplatzes hatte in Texas 1 m über dem Erdboden 61,3° bei einer Lufttemperatur von 38° (Dorno). Das gleiche lernt der Mediziner in der Hygiene der Kleidung. Schwarze Tuchstoffe erwärmen sich in freier Luft bei Windstille und Besonnung stärker als helle.

So wirken also im Binnenklima Temperatur, reflektierte Wärme, relative Feuchtigkeit, Stärke und Häufigkeit von Windströmungen mannigfaltig zusammen auf den Organismus des Menschen.

---

[1]) Sundström, A. Journ. of Phys. 60, 397 (1923).

3. Die Klimaphysiologie des Binnenklimas.

Beginnen wir mit dem warmfeuchten Binnenlandklima der Niederungen des europäischen Kontinents, so fühlt sich der leichtbekleidete Mensch bei einer mittleren relativen Feuchtigkeit von etwa 70% und Temperaturen bis 24° C und bei einer solchen von 80% bis 23° C in Ruhe behaglich. Für therapeutische Zwecke sucht man ein derartiges Binnenklima von Orten auf, die einen möglichst hohen Grad von Staubfreiheit und möglichst geringe Nebelbildung durch ihre geographische und landschaftliche Lage gewährleisten. Wenn sich der Großstädter an einen Ort auf dem flachen Lande, etwa auf ein Landgut, zurückzieht, so erwartet er dort außer der Ruhe, die ihn besser einschlafen und länger ausschlafen läßt, zuvörderst eine von Bakterienkeimen freiere Luft als in seinem großstädtischen Wohnort. (Früher glaubte man auch an einen größeren Gehalt von „Ozon" in reiner Luft. Der Ozongehalt hätte hygienisch insofern eine Bedeutung, als Ozon die Zerstörung von Fäulnisprodukten beschleunigt. Ozon ist aber ein die Atemwege und die Schleimhäute der Augen stark reizendes Gas. Man hat auch bei den sog. Ozonmessungen mit Hilfe von Jodkaliumstärkepapier gar nicht Ozon gemessen, sondern zum mindesten gleichzeitig damit Wasserstoffsuperoxyd und Stickoxyde.) Leider besitzen wir aber für den hygienisch so bedeutungsvollen Keimgehalt der Luft an freiliegenden Orten im Binnenklima und der Großstadt, wie im Mittelgebirge und auf hohen Bergen meist nur einen Anhalt an Staubzählungen mit dem Aitkenschen Staubzähler. Mit ihm hat man so selbstverständliche Resultate erhalten, wie, daß die Luft nach kräftigem Regen in den Großstädten weniger staubhaltig ist als zuvor ($^1/_{10}$ bis $^1/_{20}$ der Norm). Man hat außerdem, wie ich glaube, mit Recht, prinzipiell gegen die Methode eingewandt, daß durch sie nur hygroskopische Teilchen gezählt werden, nicht aber trockner Staub mineralischer oder organischer Herkunft. Die elektrisch geladenen hygroskopischen Teilchen dienen als Kern für die Konzentration von Wassertröpfchen. Man zählt also nicht einmal Staub, sondern nur Kondensationspartikelchen, und das ist hygienisch uninteressant.

Wir suchen aber den Bakteriengehalt der Luft. Er ist bisher nur durch Auszählungen von Agarplatten in sehr mühevoller Weise auf hohen Bergen und in Großstädten ausreichend oft untersucht worden. Man sollte ähnlich, wie bei der Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft mit dem Aspirationspsychrometer von Aßmann, eine bestimmte Menge Luft durch sterile Watte hindurchsaugen und dann den Keimgehalt bestimmen. Erst so würden wir klimato-therapeutisch brauchbare Werte für die Reinheit der Luft auf dem Lande, im Walde usw. erhalten. Dorno weist mit Recht darauf hin, daß durch Untersuchungen im Freiballon die Unregelmäßigkeit der Abnahme der Keimzahl mit der Höhe erwiesen sei und es sehr wahrscheinlich mache, daß die Bakterien recht unregelmäßig wolkenartig bis etwa 4000 m verteilt sind. Man wird also auf manche Überraschung gefaßt sein müssen! Darüber besteht allerdings kein Zweifel, daß im allgemeinen die Luft im freien Binnenland reiner ist, als in der Umgebung oder gar innerhalb von Ortschaften. Daß aber die Nachbarschaft größerer Fabrikanlagen oder länger anhaltende Trockenheit und damit starke Staubentwicklung auf den Landstraßen bei ungünstiger Windrichtung den Keimgehalt der Landluft stark erhöht, ist höchst wahrscheinlich.

Die Nähe mittlerer oder größerer Binnenseeflächen schützt die Luft vor Verunreinigungen, reguliert außerdem starke Temperaturschwankungen. So ist das Klima an den Ufern unserer größeren kontinentalen Binnenseen als Schonungsklima zu bezeichnen (Bodensee, Donauniederung oder -tal, Bergstraße, Chiemsee).

In der Nähe gelegene, Windschutz bietende Höhenzüge unterstützen noch diesen Charakter (Thuner See). Die Besonnung ist in derartigen feuchtwarmen Niederungsklimaten von ganz besonderer Bedeutung und gestaltet sie für die Monate April—Mai und September—Oktober zu rivieraähnlichen Erholungsplätzen. Allerdings ist gerade in diesen Gegenden eine Mischung von Witterungsbedingungen besonders häufig, die das „Gefühl der Schwüle" erzeugt. Darunter verstehen wir eine erschlaffende, das Wohlbehagen störende Wirkung auf das Zentralnervensystem, sehr wahrscheinlich hervorgerufen durch Wärmestauung infolge unzureichender Wärmeabgabe bei sehr geringem Sättigungsdefizit, hohem Wasserdampfgehalt und hoher Temperatur der Luft mit Windstille. So wirkt die dem Gewittersturm vorausgehende Windstille mit besonders starker Ausstrahlung des Himmels (durch Reflex an den feinen Zirruswolken) zusammen, um die „Gewitterschwüle" zu erzeugen. Jedermann weiß, wie schnell der aufkommende Gewitterwind dann das Gefühl der Schwüle beseitigt.

Während ein „schonendes" Binnenklima vor plötzlichen Kälteeinbrüchen und Wärmewellen bewahrt sein soll, machen die starken Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen das ungeschützte Binnenklima mehr geeignet für Wanderungen jugendlicher, kräftiger Menschen, zumal in den Frühjahrs- und Herbstmonaten. Das mäßigfeuchte kühle Klima des zur Sommerfrische geeigneten ungeschützten Binnenortes enthält kräftigende und anregende Faktoren (langdauernder Aufenthalt in der Sonne, gute Abkühlung am Abend, Wanderungen) wirkt also im Sommer hygienisch prophylaktisch. Benutzt man die frühen Morgenstunden und späteren Nachmittagsstunden, so hat der Tau oder Reif den Staub bei sonst trockenem Wetter gedeckt und verhütet zu starkes Anschwellen der Keimzahl der eingeatmeten Luft.

Auch an den Abhängen unserer höheren Mittelgebirge haben wir ein geschütztes feuchtwarmes Niederungsklima. Bei ihm kombinieren sich Reinheit der Luft, kräftigere Besonnung als in der Großstadt mit Temperaturschutz durch Wälder und Seen, nächtlicher Abkühlung und dem beruhigenden Einfluß der landschaftlichen Umgebung. Geringe Anforderungen an die Wärmeproduktion, d. h. also Möglichkeit zur Einsparung von Körpersubstanz, Schonung der Luftwege, schwache Hautreize gestalten ein derartiges Klima zu einem Treibhausklima in gutem Sinne (Südwestecke des Bodensees).

Das warme, trockene Klima der binnenländischen Niederungen herrscht nur in den östlichen Teilen Deutschlands in einigen Gebieten der Provinz Posen und Westpreußen. Es ist das Klima Südostrußlands vom Schwarzen Meer bis zur Wolga, der Ostküste Italiens, der ungarischen Tiefebene, des östlichen Spaniens und südöstlichen Frankreichs. In den für den Kuraufenthalt geeigneten Monaten des Vorfrühlings bis zum Mai und im Herbst herrscht in derartig gelegenen Orten (Meran, Bozen) hohe, aber durch ihre Trockenheit erträgliche Lufttemperatur. Die mittlere relative Feuchtigkeit soll etwa 20% unter der des feuchtwarmen Niederungsklimas in Deutschland während der Sommermonate liegen. Möglichst lange Sonnenscheindauer und das Fehlen von nicht zu starke Temperaturschwankungen erzeugenden Winden soll mit möglichster Keimfreiheit der Luft kombiniert sein. Dies ist an den großen Kurplätzen durchaus nicht immer der Fall. Der Keimgehalt der Luft an der französischen Riviera, die ja der Lieblingsaufenthalt Tuberkulöser war, liegt sicher vielfach nicht unter dem einer Großstadt!

Der Übergang von Berlin nach dem 530 m hoch am See geschützt liegenden Brienz hat bei den sechs Teilnehmern der Zuntzschen Monte-Rosa-Expedition[1])

[1]) loc. cit.

den respiratorischen Gaswechsel und das Atemvolumen, nüchtern morgens in Ruhe gemessen, nicht beeinflußt:

Sauerstoffverbrauch in Kubikzentimetern pro Minute.

August 1901	Berlin		Brienz	
	absolut	pro kg	absolut	pro kg
6 Personen (Mittel)	241	3,63	228	3,58

Die geringe Abnahme erklärt sich aus akzessorischen, nicht klimatischen Differenzen. Die Pulsfrequenz, früh nüchtern im Bett gemessen, war in der neuen Umgebung anfangs bei allen gesteigert, sank aber bald auf die Berliner Werte zurück. Anders als in der Ruhe trat aber in Brienz bei Körperarbeit eine deutliche Steigerung der Atemvolumina, berechnet auf 1 mkg Steigarbeit, hervor. so z. B. bei Loewy von 15 auf 33, bei Müller von 25 auf 34, bei Kolmer von 19 auf 27, bei Caspari von 19 auf 27 ccm.

Bemerkenswert war ferner im Stoffwechselversuch, daß der Aufenthalt in Brienz gegenüber Berlin bei fast gleicher oder geringerer Kalorienzufuhr eine deutliche Tendenz zum Eiweißansatz aufwies. Das ist bei Waldenburg, Caspari und Loewy besonders deutlich. Man darf danach annehmen, daß auch der Aufenthalt im Mittelgebirge während der Sommerfrische ähnlich eiweißsparend wirkt. Der wirksame Faktor dürfte in der Verminderung der Sauerstoffspannung für 500 m Höhendifferenz liegen.

	Berlin			Brienz		
	Einnahme Stickstoff g	Bilanz Stickstoff g	Resorbiert Kalorien pro kg	Einnahme Stickstoff g	Bilanz Stickstoff g	Resorbierte Kalorien pro kg
Waldenburg	19,0	—0,73	49	17,5	+1,78	53
Kolmer	12,7	—1,16	50	18,5	+0,20	49
Caspari	10,1	—0,82	48	16,9	+0,87	46
Müller	13,1	+0,48	42	16,4	+0,93	39
Loewy	15,0	+2,27	60	16,2	+0,83	45
Zuntz	13,2	+0,19	36	15,7	+0,04	39

4. Großstadtklima[1]).

Ein Unterschied in der chemischen Zusammensetzung der Landluft und der Stadtluft besteht nicht, dagegen üben die Häusermassen und gepflasterten Straßen der Großstadt, die durch die Sonnenstrahlen stark erwärmt werden, die Wärme lange speichern und ausgiebig reflektieren, einen Einfluß auf die Lufttemperatur aus. Immerhin war der Temperaturunterschied zwischen drei Stationen im Innern Berlins, die in sehr verschiedener Höhe vom Erdboden lagen, gegenüber einer Station auf dem freien Lande in Blankenburg im Mittel von 10 Jahren nur in den Frühjahrs- und Sommermonaten mittags und abends nicht mehr als 0,5°. Den höchsten Durchschnitt hatte die von Häusern fast ganz umgebene Beobachtungsstelle in Berlin S, während die über 5 Stockwerken auf dem Dach der Landwirtschaftlichen Hochschule in Berlin NW befindliche Station zu allen Beobachtungsstunden die kälteste war.

[1]) Vgl. Otto Behre, Das Klima von Berlin. Berlin 1908 (Verlag Otto Salle).

Im Monatsmittel war die Stadt bis zu 0,9° wärmer als das freie Land. Im einzelnen findet man allerdings an Sommertagen Unterschiede bis zu 1,5°, wenn man an der Peripherie der Stadt in einer Thermometerhütte, im Stadtinnern aber am Fenster mißt. Man darf aber die verhältnismäßig geringen Temperaturunterschiede zwischen Großstadtluft und freier Landluft nur dann als sicher annehmen, wenn die Thermometer in genau gleicher Weise angebracht sind. Früh um 7 Uhr morgens dürfte die Temperatur in der ganzen Stadt ziemlich gleich sein, um 2 Uhr mittags und 9 Uhr abends in den von Gebäuden umgebenen Gegenden wärmer als in den frei gelegenen Gebieten an der Peripherie. Es ist an Sommerabenden in der Stadt durchschnittlich etwas mehr als 1° wärmer als außerhalb der Stadt. In Berlin, Wien und Paris stellte man an einzelnen windstillen Tagen Unterschiede bis zu 3° und mehr fest. Die Einwirkung der Großstadt besteht daher in einer Erhöhung der Nachmittagstemperatur und vor allem in einer Verzögerung der täglichen Abkühlung, die im heißen Sommer bis auf 1½° steigen kann. Dementsprechend ist auch die Zahl der Eis-, Frost- und Sommertage in der Stadt und auf dem freien Land verschieden. Im Mittel 1889—1900 wurde in Berlin beobachtet:

	In der Außenstadt	In der Innenstadt
Eistage (Maximum unter 0°)	29	27
Frosttage (Minimum unter 0°)	100	81
Sommertage (Maximum 25° und mehr)	29	35

Immerhin muß man zugeben, daß der Einfluß der Großstadt auf die Temperatur meist überschätzt wird, doch darf man nicht vergessen, daß die Beobachtungsstationen, wie schon angedeutet, zum Teil 4—5 Stockwerk hoch in von hohen Gebäuden freien Gegenden liegen, während die Bewohner sich im allgemeinen näher dem sonnendurchglühten Erdboden aufhalten! Heller, gelblicher Sand oder weißer Kalk reflektieren das Sonnenlicht blendend, dunkler absorbiert die Wärme, ohne sie zu reflektieren.

Störend für das Wohlbehagen ist auch der Windschutz, den die Häusermassen der Großstadt gewähren. Während auf dem freien Lande am Nachmittag und Abend eines Sommertages immer ein, wenn auch schwacher Wind herrscht, regt sich oft innerhalb der Stadt kein Luftzug und macht den Aufenthalt zwischen den erhitzten Mauern dadurch schwer erträglich. Hinzukommt, daß infolge der verschiedenartigen Bodenbedeckung die Luft über dem Pflaster trockner als über ungepflastertem, zumal mit Gras- oder Pflanzen bewachsenem Boden ist. Der rasche Ablauf des Regenwassers vermindert weiter die Verdunstung und so den Wassergehalt der Luft.

Eine gute Lufterneuerung durch den Wind ist für jede Großstadt von erheblicher hygienischer Bedeutung. Wo viel Wind, wenig Staub; wo viel Staub, wenig Wind! Andererseits sind starke Luftströmungen bei trockenen, chaussierten, nicht gesprengten Straßen in der trockenen Jahreszeit durch Staubwolkenbildung äußerst lästig.

Geringe Bodenerhebungen bewirken in einer Stadt schon nennenswerte, das Wohlbehagen deutlich beeinflussende Unterschiede. So ist die Luft in dem 40—50 m über dem Charlottenburger Stadtniveau liegenden Stadtteil Westend an Sommermittagen, Sommerabenden und im Winter regelmäßig um 1—2° kühler als in der nur wenige hundert Meter entfernt liegenden tieferen Stadtgegend. In Westend liegt der Schnee daher im Winter länger. Dem entspricht, daß an nebligen Tagen der Nebel fast

niemals bis auf die geringe Höhe von Westend heraufreicht. Die gleichen Beobachtungen sind in exakter Weise in den höher gelegenen Stadtgegenden von Paris gemacht worden.

Charakteristisch für die Großstadtluft ist ferner, wie früher schon angedeutet, ihr hoher Staub- und Keimgehalt, die wiederum stärkere Bewölkung und geringere Bestrahlung bedingen. Außer in Städten, wie etwa Essen, ist der Einfluß der Verbrennungsprodukte auf die Nebelbildung und Zunahme der Bewölkung in deutschen Städten nicht sehr bedeutend. Der Himmel über der Stadt ist im allgemeinen grau oder bewölkt, in der kühleren Jahreshälfte am Morgen am stärksten, am Mittag weniger und am späten Abend am wenigsten. Im Verlauf der Nacht nimmt dann die Wolkenmenge wieder zu und erreicht gegen Morgen ihren Höchstgrad. In der wärmeren Jahreshälfte ist der Morgenhimmel mäßig bewölkt, stärker mit Steigen der Sonne, weniger bei Niedergang der Sonne und am Abend am geringsten. Die Sonnenscheindauer ist infolgedessen in Berlin nur etwa 40% der möglichen.

Schon kleine Baumgruppen oder Wiesenflächen sind im Stadtinnern hygienisch äußerst wertvoll. Wenn es auch unrichtig ist, die Sterblichkeitskurven ohne weiteres zur Temperaturkurve in Beziehung zu setzen, so ergibt doch ein Vergleich der dreijährig ausgeglichenen Sterblichkeit und der jährlichen Mitteltemperaturen zwischen 1810 und 1910 einen deutlichen Einfluß der Temperatur auf die Sterblichkeitsschwankungen. Der Einfluß des Wetters tritt dabei überraschend klar hervor: Die hohen Sommertemperaturen führen in ländlichen Gegenden, in denen die Säuglinge, wie in den Niederlanden, noch fast allgemein von den Müttern gestillt werden, zwar auch zu einer Steigerung der Kindersterblichkeit an Darmkrankheiten. Immerhin ist es als bewiesen anzusehen, daß die hohe Sommersterblichkeit der Brustkinder in den Städten eine Folge von Überhitzung ist, teils direkt durch Hitzschlag, teils indirekt durch ungünstigeren Verlauf von Verdauungsstörungen. Bei Flaschenkindern kommt die raschere Zersetzung der Milch unter dem Einfluß der warmen Temperatur hinzu. Dagegen sind die zahlreichen Sommerdurchfälle der Erwachsenen nicht einfach Folgen der Hitze, sondern Folge unzweckmäßiger Ernährung oder Lebensweise. Sie treten gerade so häufig außerhalb wie innerhalb der Großstadt auf.

B. Waldklima.

Von Prof. Dr. **Franz Müller** (Berlin).

In der „Allgemeinen Balneologie" ist schon kurz auf den klimatischen Einfluß des Waldes hingewiesen worden.

Man sagt im allgemeinen, daß die Lufttemperatur im Walde und seiner Umgebung niedriger sei als im freien Felde. Das stimmt aber nur unter bestimmten Bedingungen. Vor allem die Untersuchungen von Schubert[1]) haben gezeigt, daß die dem Boden zunächst liegenden Luftschichten zwar im Walde kühler sind, als auf freiem Felde und eine höhere relative Feuchtigkeit besitzen, daß dagegen die Luft schon 4 m über dem Erdboden in der Höhe der Baumkronen einer Buchenschonung wärmer als auf dem Felde ist. In der Buchenschonung ist die höchste Temperatur in der Baumkronenschicht, die tagsüber wärmer oder ebenso warm ist, wie die Luft nahe dem Boden. Besonders charakteristisch ist der Unterschied im Temperaturgang an sonnigen Nachmittagen: Auf dem Felde steigt die Wärme vom Boden in die Höhe, während der kalte Waldboden die Luft nicht erwärmt. Infolge der großen Verdunstungsoberfläche auf dem Blätterdach und der kühleren Temperatur des Bodens kühlt sich die Luft im Walde bei sinkender Sonne schneller ab als auf freiem Felde. Diese örtliche Abkühlung kann sich infolge der ruhigen Lagerung der Luft ungehindert entwickeln. So ist die Lufttemperatur im Walde im Sommer um die Mittagszeit oft kaum niedriger, dagegen am späten Nachmittag und Abend deutlich kühler als in der freien Umgebung.

Von der Wirkung des Waldes auf die Luftfeuchtigkeit macht man sich im allgemeinen falsche oder übertriebene Vorstellungen[2]).

Einfache Regenmessungen täuschen nämlich. Stellt man den Einfluß des Windschutzes auf die Angaben der Regenmesser in Rechnung, so zeigt sich, daß die wahre Niederschlagsmenge nur sehr wenig mit der Bewaldung zunimmt. Bei einer Mehrbewaldung von 10% der Gesamtfläche in Schlesien um weniger als 1,1%, in Westpreußen und Posen um weniger als 2,3%. Ähnlich niedere Zahlen wurden in Schweden gefunden. Sie kommen klimato-physiologisch kaum in Betracht. Dagegen ist der

---

[1]) Johannes Schubert (Eberswalde), Die Einwirkung des grünen Buchenwaldes auf die Temperatur und Feuchtigkeit der Luft. „Das Wetter", 13. April 1905.

[2]) E. Ebermayer, Hygienische Bedeutung der Waldluft und des Waldbodens. Forschungen auf dem Gebiet der Agrikulturphysik, Bd. XIII, 5. Heft. Heidelberg 1890 (Verlag Karl Winter).

J. Schubert, Niederschlag. Meteorologische Ztschr. 1917, S. 145. — Derselbe, Wald und Niederschlag in Westpreußen und Posen. Eberswalde 1905 (C. Jancke). — Derselbe, Wald und Niederschlag in Schlesien. Ztschr. f. Forst- u. Jagdwesen, Bd. 37 S. 375. 1905.

Schutz des Waldes gegen den Wind, der den Aufstieg der Luft hervorruft oder befördert und beim Aufsteigen Sinken der Temperatur und Abgabe von Feuchtigkeit erzeugt, insofern von Wichtigkeit, als dadurch die Verdunstung unter Waldbäumen schwächer bleibt als im Freien. Daher ist der Laubwaldboden feuchter und vom ärztlichen Standpunkt aus nur in der heißen Jahreszeit zum Lagern zu empfehlen.

Gegenüber dem Acker- oder Gartenboden bietet der Waldboden den pathogenen Bakterien weniger günstige Lebensbedingungen. Die Nadelhölzer entziehen dem Boden mehr Flüssigkeit als die Laubhölzer, obwohl die ersten ein viel geringeres Transpirationsvermögen besitzen. Wegen des dichten Kronenschirmes und der büschelförmigen Stellung der immergrünen Nadeln bleibt der Boden in Nadelholzwaldungen trockner als in Laubwaldungen.

Die Luftbewegung ist im Walde im Vergleich zur freien Umgebung viel geringer, daher ist auch, zumal in Laubwaldungen, die Staubbildung gering und die Luft staub- und bakterienärmer als Land- oder gar Stadtluft. Allerdings kann man diesen Vorzug nicht der Luft in ungemischten Kieferwaldungen nahe der Großstadt, etwa in der nächsten Umgebung Berlins oder Nürnbergs, nachrühmen. Aus dem Gesagten ergibt sich aber der Wert größerer Baumpflanzungen innerhalb von Städten. Nicht die direkte Reinigung der Luft durch die Blätter, sondern die Abkühlung des Bodens im Sommer, die Drainage und Aufnahme der Zersetzungsprodukte menschlicher und tierischer Auswurfs- und Abfallstoffe macht derartige Waldflächen für große Städte unentbehrlich.

Man hat früher der Waldluft nachgerühmt, daß sie einen größeren Sauerstoffgehalt und mehr Ozon besitze als die Stadtluft. Davon kann keine Rede sein. Wir wissen aber, wie auch Tabelle 17 (S. 80) zeigt, daß die Landluft, und vor allem die Waldluft ärmer ist an Staubteilchen als die Luft in den Straßen der Großstadt. So wurden in der Rue Rivoli von Paris auf 1 cbm Luft 3480, in neuen Teilen der Stadt 4500, in älteren 36000 und im Park von Mont Souris nur 490 Bakterien gefunden; die durchschnittlich höchste Zahl war dort 740 im Juli. Nebenbei sei hier auf die Bedeutung von Eukalyptuspflanzungen für die Bewässerung des Wüstenbodens und die Sanierung gegen Malaria hingewiesen. Diese Sträucher dienen mit ihrer tiefen Bewurzelung und ausnehmend starken Transpiration zur Austrocknung sumpfiger Bodenschichten. Das hat man in Ostafrika und neuerdings in Palästina erprobt. Die schnelle Aufsaugung des Wassers durch die Wurzeln bietet in unseren Klimaten den Vorzug, daß der Waldboden nach Regengüssen verhältnismäßig schnell wieder begehbar wird, und daß man sich daher in den Übergangszeiten des Frühlings und Herbstes mehr im Freien ergehen kann als auf dem freien Lande.

Hauptsächlich wegen des Windschutzes, aber auch wegen der nicht zu unterschätzenden beruhigenden psychischen Einwirkung, den der Wald im Sommer mit seinem gleichmäßigen Grün, im Herbst mit seinen vielen Schattierungen vom Grün bis zum Rot, seinem allmählichen Wechsel von Licht und Schatten, seiner Ruhe und seinem gleichförmigen Rauschen auf den Menschen ausübt, legt man Sanatorien mit Vorliebe in die Nähe von Wäldern, wenn möglich hoch über der Talsole oder dem Flußbett. Zahlreiche Luftkurorte innerhalb unseres deutschen bewaldeten Mittelgebirges werden wegen dieses Schonungsklimas aufgesucht.

Bei den Untersuchungen von Franz Müller an Arbeiterkindern Charlottenburgs im Jahre 1911[1]) war der Nahrungsverbrauch während des Aufenthalts in der Walderholungsstätte Eichkamp gegenüber dem Elternhaus um 10% gesteigert.

[1]) Veröffentl. d. Zentralstelle f. Balneol. Bd. II S. 293.

Diese Zunahme kann man aber nicht allein auf den Klimawechsel beziehen. Die Kinder hatten eben in der Erholungsstätte mehr Gelegenheit zur freien, ungehinderten Bewegung, sie waren vom Schulzwang befreit. Dies erklärt schon die Besserung des Appetits und die Steigerung der aufgenommenen Nahrungsmengen. (Der Kraft-verbrauch der 7—14 jährigen Kinder stieg von 74 auf etwa 80 Kalorien pro Kilogramm und Tag und betrug nach Abzug der Verluste in Harn, Kot usw. 1500 pro Quadratmeter Köperoberfläche, gegenüber 1445 Kalorien im Elternhaus.)

Ein ungünstiges klimatisches Moment für die nähere Umgebung des Waldes ist die Neigung zur Nebelbildung. Über Waldflächen, genau wie über größeren Wasserflächen, ist die Luft kühler als in der Umgebung. Die kühle Luft sinkt herab, ihr kommen vom Boden her warme Luftströme entgegen. So bildet sich im Windschatten am Rande des Waldes ein Nebelstreif. Dazwischen liegen wasserärmere Luftschichten. Man wird oft in der Umgebung von Wäldern und Seen den Wechsel von feuchten, kühlen Luftstrichen mit wärmeren, trockenen, besonders im Frühjahr bei ruhiger Wetterlage, verfolgen können. Solche starken Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen sind aber für viele Kranke unerwünscht. Für Rheumatiker eignet sich ein derartiger Waldaufenthalt in den Übergangszeiten also nicht.

Der Einfluß des Waldes auf das Binnenklima erfährt nicht unbeträchtliche Modifikationen durch das Vorhandensein von selbst geringen Höhendifferenzen. So sind die klimatischen Verhältnisse im Harz oder in Thüringen nicht unwesentlich verschieden von denen der nahen bewaldeten Niederungen. Gerade ein isoliert aufragender Bergstock wie der Brocken mit seinen Ausläufern bewirkt intensive Neigung zur Nebelbildung, zu Niederschlägen und durch die Höhendifferenz starke Temperaturschwankungen. Die Witterung ist dort im allgemeinen unbeständig.

C. Seeklima.

Von Prof. Dr. **Franz Müller** (Berlin) und Dr. med. et phil. **B. Berliner** (Berlin).

1. Die medizinische Klimatologie des Seeklimas.

„Das Seeklima hat gemäßigte, das Landklima extreme Temperaturschwankungen." Die Luft ist an der See reicher an Wasserdampf als im Binnenlande, die Besonnung im Frühjahr und späten Herbst stärker als dort, im Sommer dagegen nicht. Der geringere Dunstgehalt bewirkt bei gleicher geographischer Breite und Tageslänge eine größere Sonnenscheindauer an der Küste gegenüber dem Binnenlande. Vergleichen wir die Aufzeichnungen von neun deutschen nördlichen Binnenstationen mit neun Stationen im nordischen Küstengebiet, von denen aber nur Helgoland und Kolbergermünde ganz nahe an der Küste liegen, während einige, z. B. Meldorf, weit von ihr entfernt sind, so finden wir im Mai im Durchschnitt von 10—30jährigen Beobachtungen an den Küstenstationen eine um 9% größere Stundendauer des mittleren absoluten Sonnenscheins, dagegen im Juni nur ein Mehr von 2½%. Nimmt man die mittleren Monatssummen des absoluten Sonnenscheins von Mai und Juni und von Juli, August zusammen, so sind sie an der Küste im Frühjahr um 5%, im Sommer nur um 2½% größer, im September bis Oktober dagegen fast gleich wie im Binnenlande. Dabei muß man bedenken, daß die Aufzeichnungen des Sonnenscheinautographen sich nur bei wirklichem Sonnenschein und leichter Bewölkung markieren, während die Helligkeit oft bei mäßiger Bewölkung stärker ist als bei klarem Himmel.

Sonnenscheindauer in Stunden für

	Mai	Juni	Sept.	Okt.
Nordseeküste (Emden, Helgoland, Meldorf)	230	234	142	96
Westliche Ostsee (Kiel, Rostock)	218	240	150	92
Östliche Ostsee (Kolbergermünde, Dirschau)	240	263	160	106

Man kann an mindestens 90 von 100 Tagen auf Sonnenschein rechnen: an der Nordsee von Anfang Mai bis Anfang September, an der westlichen Ostsee bis Mitte September, an der östlichen Ostsee bis Ende September. Die hellsten Monate sind also Mai, Juni und September.

Messungen der Ortshelligkeit mit dem Weberschen Milchglasplattenphotometer ergaben in Kolberg im Vergleich zu Kiel und Davos im Mittel aus 2 bzw. 3 Jahren folgende Zahlen[1]):

[1]) K. Kaehler, Veröffentl. d. Zentralstelle f. Balneol. Bd. III, Nov. 1920.

Äquivalenzwerte der Ortshelligkeit am Mittag in Kiel, Kolberg und Davos (1000 Hefnerkerzen).

Monat	Kiel 1908/10	Kolberg 1914/15	Davos 1908/10
Januar	7,7	9,7	45,9
Februar	15,6	19,2	61,3
März	27,4	27,0	95,8
April	40,5	59,1	112,4
Mai	46,8	57,2	117,0
Juni	55,9	67,8	112,7
Juli	54,4	72,0	99,8
August	44,8	58,9	102,4
September	44,5	45,5	84,7
Oktober	24,0	19,8	72,6
November	14,4	9,7	45,1
Dezember	7,1	8,4	38,2

Wir sehen zwar den enormen Unterschied des Hochgebirges gegenüber dem Flachland, dann aber größere Helligkeit direkt an der Ostseeküste gegenüber dem nicht einmal weit vom Meere gelegenen Kiel. Der Unterschied ist von April bis Juli besonders groß und gleicht sich im Herbst fast aus. Greift man nur die bei klarem Himmel erhaltenen Mittagswerte heraus, so war in Kolberg der Höchstwert dieser normalen Werte der Ortshelligkeit etwa 7mal so groß als der tiefste Wert, in Davos 3½mal so groß. An wolkenlosen Tagen ist also die Helligkeitsschwankung nur doppelt so groß wie im Schweizer Hochgebirge. Messungen der Sonnenwärme ergaben für Kolberg eine um 10% größere wirkliche Wärmesumme (unter Berücksichtigung der Bewölkung) als in Potsdam. Sie war höher als an allen anderen Orten Mittel- und Nordeuropas. Die Wärmestrahlung zeigt ein Hauptmaximum im Frühjahr und ein zweites im September, Oktober (Messungen von C. Kaßner[1]). Auch Kähler fand mit anderer Apparatur die höchsten Werte im Mai. Dunst wirkt auf die kleineren Wellenlängen unter 400 stärker lichtschwächend als über 400. Die Störungen durch Dunst sind am stärksten im Winter, wo sie die Strahlungswerte bis auf die Hälfte der an klaren Tagen gefundenen herabdrücken, aber auch im Hochsommer kann in den Mittagsstunden durch derartige vorübergehende Trübungen mehr als ein Viertel der Sonnenenergie verloren gehen. Die Jahressumme der für eine wagerechte Fläche möglichen Erwärmung betrug in Kolberg 52% gegenüber 56% in Davos, und für eine stets zur Sonnenrichtung senkrechte Fläche 25% gegenüber 21%. (In Potsdam 46% und 22%.) Ebenso wie die Wärmestrahlung hat die violette und ultraviolette Strahlung im Verhältnis zum Blauviolett ihr Maximum im Mai, dagegen ist das Ultraviolett im Herbst am stärksten, qualitativ gleiche Differenzen, wie sie Dorno für Davos erhielt.

Die Strahlung an der deutschen Ostseeküste zeigt also sehr viel größere Schwankungen im jährlichen und täglichen Gang als im Hochgebirge. Die niedrigsten Strahlenwerte findet man im Winter; verhältnismäßig am meisten geschwächt ist das ultraviolette Sonnenlicht, am wenigsten die Wärmestrahlung. Daher sind die Wintermonate an der Küste verhältnismäßig mild. Das Frühjahr zeigt stärkste Wärmestrahlung, starke Fülle

---

[1]) C. Kassner, Das Klima der Sommermonate in Norddeutschland. Veröffentl. d. Zentralstelle f. Balneol. III. Heft 7—10.

an blaugrünem Licht, Zunahme der Gesamthelligkeit und verhältnismäßig geringere Zunahme des violetten und besonders ultravioletten Lichts. Im Sommer erreichen die Helligkeit und noch mehr das ultraviolette Licht ihre größten Werte, während die Wärmestrahlung sehr stark abgeschwächt ist. Im Herbst steigt sie wieder erheblich an, ebenso das direkte blaue Sonnenlicht. Das ultraviolette Licht und die Gesamthelligkeit sind im Herbst größer als im Frühjahr, aber kleiner als im Sommer.

Die Luftströmungen sind am Meer viel ausgiebiger als im Lande. Hinzu kommt, was leider noch viel zu wenig messend verfolgt worden ist, die starke Lichtreflektion von dem hellen Küstensand.

Im Vergleich zum Hochgebirgsklima ist der Luftdruck nicht herabgesetzt, dagegen ist die Intensität der Sonnenstrahlung zum mindesten zu gewissen Jahreszeiten erheblicher als im Flachlande. Temperaturschwankungen sind — im Gegensatz zum Hochgebirgsklima — gering, dagegen die Luftströmungen ebenso wie im Gebirge intensiver als auf dem Lande. Wie im Hochgebirge ist die Zahl der Kondensationskerne, gemessen mit dem Aitkenschen Kernzähler, am Meer relativ gering, allerdings besonders bei Seewind. So fand Kähler als Minimum in Potsdam 5000, auf dem Brocken 600, auf der Schneekoppe 200, nach Regenwetter und bei Seewind in Kolberg 200 Teilchen im Kubikzentimeter. Lüdeling fand in Misdroy 500, an der Wesermündung 250 Teile. Schon ein vorüberfahrendes Fischerboot kann natürlich den Kerngehalt (auf über 1000 Teile) steigern. Die Mittelwerte waren für Kolberg (Kähler):

	April	Mai	Juni
Seewind	6400	4700	8000
Küstenwind	6800	5600	14000
Landwind	17900	10700	15600
Gesamtmittel	9500	6200	10700

Als Ergebnis langjähriger Beobachtungen zeigt sich, daß an den deutschen Seeküsten Mai und Juni die wärmsten Monate mit der reinsten Luft, der stärksten Helligkeit, dem stärksten blauvioletten Licht und viel Wind sind. Daß die Sommermonate zwar kühler als im Binnenlande, aber unbeständig, regen- und staubreich sind, während von Ende August ab bis Anfang Oktober relativ warme, regenarme und windarme Tage vorherrschen und die ultraviolette Strahlung besonders stark ist.

Das Seeklima erleidet örtlich erhebliche Modifikationen durch hohe Dünen, zumal wenn sie, wie an der Ostsee, bewaldet sind. B. Berliner und Franz Müller[1]) sahen bei starkem Windschutz durch einen solchen Dünenwald direkt hinter ihm große Unterschiede in Temperatur, Feuchtigkeit und Windgeschwindigkeit gegenüber dem nur wenige hundert Meter entfernten Strande. Der Seewind mit seiner Feuchtigkeit tritt erst weiter landeinwärts wieder in Erscheinung. So herrscht dicht hinter dem Wald ein vom Binnenklima wenig verschiedenes Klima! Diese Differenzen kann man bei Anlage von Hospizen u. ä. nutzbar verwerten und so ein schonenderes Klima auswählen.

[1]) Vergleichende meteorologische Beobachtungen am Strande und an der Binnenseite des Dünenwaldes in einem Ostseebade. Veröffentl. d. Zentralstelle f. Balneol. 1. Jg. Heft V S. 3. Hellmann, ebenda 1. Jg. Heft III.

Die Möglichkeit zur Nebelbildung ist zwar an der See größer als auf dem Lande, trotzdem sind die Verhältnisse von Mai bis September an den deutschen Seeküsten nicht ungünstiger als in den kontinentalen Kurorten.

Mittlere Zahlen der Nebeltage in den Kurzeiten.
(Nach van Oordt.)

	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.
Nordsee	1,5	1,1	0,8	0,5	1,4
Ostsee	2,2	1,3	0,8	1,1	2,1
Badenweiler (Hangstation des Mittelgebirges)	1,5	2,3	1,2	0,6	5,0
St. Moritz (Hochgebirge)	1,2	1,1	0,8	1,4	1,9

	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April
Bozen-Gries (Trockenwarme Niederung)	1,2	0,4	1,3	1,7	0,3	0,3	0,1

Es ist bekannt, daß durch die Brandung zerstäubte Salzteilchen mit dem Sand vom Wind fortgeführt werden und sich auf der Haut niederschlagen, die sie feucht erhalten. Sie können auch einen leichten Hautreiz ausüben. Durch die Atemorgane werden auf diese Weise Spuren von Salz, ähnlich wie in der Nähe eines Gradierwerkes, aufgenommen. Schon Lindemann, Hiller und Kruse (1889—1892) fanden aber die Strandluft gewöhnlich kochsalzfrei. A. Loewy, Franz Müller, Cronheim und Bornstein konnten bei ruhiger Luft direkt am Strande das Fehlen von Kochsalz bestätigen[1]). Bei 2—3 Stunden dauernder Durchsaugung von durchschnittlich 20 l Luft trat keine Veränderung einer Silberlösung ein. Selbst bei starkem Seewind mit hohem Wellengang war die Luft 16 m vom Wasser entfernt praktisch salzfrei. Auch direkte Versuche über die Kochsalzmenge, die sich in 24 Stunden an der Körperoberfläche ansammelt, ergaben bei Loewy in Berlin und Westerland gleich 0,17 g, bei Müller in Berlin 0,358, an der See 0,346 g. Wir müssen daher annehmen, daß der salzige Geschmack der Luft und der Barthaare mehr von aufgewirbelten Sandteilchen, die mit Spuren Salz getränkt sind, herrührt, als von in der Luft versprühten Kochsalzspuren. Sicher hat der Kochsalzgehalt der Seeluft physiologisch kaum irgendwelche Bedeutung, wofern man sich nicht dauernd in nächster Nähe der starken Brandung aufhält. Bei Windstille oder gar bei ablandigem Winde ist die Strandluft immer vollkommen salzfrei. Dem entspricht, daß nicht einmal auf der Kommandobrücke eines Ozeandampfers oder auf einem Leuchtturm die Brillengläser sich mit Salzstaub beschlagen.

2. Die Wirkungen des Seeklimas.

a) Einfluß auf die Blutbildung.

Wenn man annimmt, daß die Wirkung des Hochgebirgsklimas auf die Blutzusammensetzung nur durch den formativen Reiz der verminderten Sauerstoffspannung auf die blutbildenden Organe bedingt ist, so wird man sich schwer davon

[1]) Über den Einfluß des Seeklimas und der Seebäder auf den Menschen. Zschr. f. exper. Path. u. Ther. Bd. 7, 1910.

überzeugen lassen, daß auch im Seeklima eine gleiche Beeinflussung der Blutbildung stattfindet. Wenn man aber berücksichtigt, wie stark sowohl die Zusammensetzung wie die Verteilung des Blutes durch intensive Belichtung beeinflußt wird, so kann man immerhin eine Wirkung des Seeklimas auf die Bluterneuerung für möglich halten. Erkennt man nämlich die Tatsache an, daß die verschiedensten unspezifischen Reize oder Reizstoffe durch Steigerung des Zellzerfalls und Bildung von Zellzerfallsgiften eine „Umstimmung" des Organismus herbeiführen, und glaubt man an eine derartige Umstimmung auch der blutbildenden Organe, so wird es durchaus wahrscheinlich, daß die an der See infolge intensiver Bestrahlung und Durchlüftung stattfindende vasomotorische Reaktion, d. h. der lebhafte Austausch zwischen Blut der Hautgebiete und Blut des Körperinnern, zu einer Neubildung von Blutelementen in dem Knochenmark Anlaß gibt.

Es entspricht den klinischen Beobachtungen an blutnormalen Menschen, daß Loewy, Müller, Cronheim und Bornstein an Hunden keine typische und konstante Wirkung des Nordseeklimas auf die Gesamtblutmenge finden konnten. Anders beim Anämischen![1]) Sowohl für Erwachsene wie besonders für Kinder haben zahlreiche Beobachter, vor allem Häberlin, sehr erhebliche Besserung des Blutbefundes durch mehrwöchigen Seeaufenthalt festgestellt. So fand Nikolas im Westerländer Genesungsheim auf Sylt bei 48 Chlorotischen nach einer durchschnittlichen Kurzeit von 75 Tagen Hämoglobinzunahmen von 16—75%. Häberlin sah bei 122 Knaben und 162 Mädchen auf Wyk im Durchschnitt folgende Zunahmen des nach Gowers gemessenen Blutfarbstoffgehalts:

	Nach 6 Wochen	Nach 12 Wochen
Mädchen	10,6%	11,5%
Knaben	11,3%	12,0%

Im Gesamtdurchschnitt nahm bei 415 Kindern das Hämoglobin um 9—10% zu, und die Zahl der Erythrozyten wuchs in 6 Wochen durchschnittlich um eine halbe Million. Auch bei Erwachsenen fand Häberlin durchschnittlich 10% Zunahme an Blutfarbstoff. Besonders beweisend erscheinen die durch zwei Jahre fortgesetzten Beobachtungen an Versuchspersonen, welche den Winter im Binnenlande verlebten. Während dieser Zeit sank die Zahl wieder, um beim zweiten Aufenthalt auf die alte Höhe heraufzugehen. Selbstverständlich war weder Eisen noch Arsen gegeben worden. Von Kügelgen sah das gleiche bei Kindern und Erwachsenen auf Wyk. Da es sich um Dauerwirkungen handelt, ist es nicht wahrscheinlich, daß die Zunahme an Blutfarbstoff- und Blutkörperchen nur durch veränderte Verteilung der Blutzellen im peripherischen Blut (Eindickung) vorgetäuscht ist. Selbstverständlich kommen starke Blutverschiebungen und -änderungen der Blutmischung im Seeklima häufiger vor als im indifferenten Binnenklima, so daß man auf gelegentliche Untersuchungen für die Frage der Blutneubildung keinen Wert legen darf. Man wird aber trotz schärfster Kritik zu dem Resultat kommen, daß irgendein im Seeklima vorhandener Faktor beim Anämischen die Blutbildung anregt, und ich möchte hier die in der Arbeit von O. Hellwig und Franz Müller[2]) aus dem Jahre 1911 enthaltenen Schlußsätze wörtlich wiedergeben, da sie, wie ich glaube, durch die Forschungen der letzten Jahre.

[1]) Dies scheinen die neuesten, 1923 ausgeführten Beobachtungen von O. Kestner auf Wyk an anämischen Kindern nur zu bestätigen.

[2]) O. Hellwig und Franz Müller, Beiträge zur Physiologie der Klimawirkungen; III. „Die Wirkung des Ostseeklimas in physiologischer Hinsicht". Veröffentl. d. Zentralstelle f. Balneol. I. Jg. Heft 11 S. 1.

vor allem von H. Freund, an Wahrscheinlichkeit gewonnen haben: „Unter dem Einfluß starker klimatischer, allgemein und besonders vasomotorisch erregend wirkender Reize, vielleicht kombiniert mit stärker wirkender Abkühlung, kommt es zu einem Zerfall von roten Blutzellen. Die in die Zirkulation gelangenden Stromasubstanzen regen die Blutbildungsstätten zu lebhafter Tätigkeit an ... Dabei mag es dahingestellt bleiben, ob direkt die Zerfallsstoffe oder indirekt der Ausfall einer gewissen Menge Hämoglobin durch lokalen Sauerstoffmangel der Schilddrüse nach den interessanten Versuchen von Mansfeld die Blutbildungsstätten beeinflußt.“ Halten doch auch Gottlieb und Freund die Klimawirkung für eine unspezifische Zellzerfallsgiftwirkung!

b) Einfluß auf den Kreislauf.

Bei morgens vor dem Aufstehen ausgeführten Zählungen der Pulsfrequenz konnten A. Loewy, Franz Müller, Cronheim und Bornstein auf Westerland keinen erheblichen Unterschied gegenüber den Berliner Werten feststellen. Immerhin war die Frequenz an der See ein wenig lebhafter. Viel deutlicher wird aber der Ausschlag im Luftbad am Strande, doch kann die Steigerung auch durch Muskelbewegung mitbedingt gewesen sein. Steigerungen über 100 wurden bei mehreren Versuchspersonen beobachtet. Im allgemeinen darf man von vornherein annehmen, daß unter der Einwirkung des Windes die Pulsfrequenz lebhafter ist als bei ruhiger Luft, und daß vielleicht, ähnlich wie im Höhenklima, die Steigerung der Pulszahl durch Muskeltätigkeit größer ist als im Flachlande. Die direkte Beobachtung der Hautfarbe im Luftbad am Strande zeigt, daß die Haut nach anfänglicher Kältereaktion besonders an windreichen Tagen sich lebhaft rötet und stärker durchblutet ist als bei gleichen Temperaturen und ruhiger Luft.

Mit Rücksicht darauf, daß man sich im allgemeinen scheut, Patienten mit nicht mehr gesundem Kreislaufsystem in scharfes Seeklima zu schicken, untersuchten wir 1909 auch die Beeinflussung des Blutdrucks und fanden bei den gesunden Versuchspersonen, wenn überhaupt, morgens nach dem ersten Frühstück in sitzender Stellung eine deutliche Herabsetzung des systolischen Druckes im Vergleich zu Berlin. Die Tendenz zum Sinken war bei Loewy (46 Jahre) am deutlichsten ausgesprochen (144 gegen 112 mm Hg) (ein Jahr später in Berlin 121). Bei Müller (36 Jahre) war die Differenz 137 gegen 111 und blieb in der Nachperiode in Berlin 110. Bei vier Arteriosklerotikern konnten wird nur einmal eine geringe Steigerung (12 mm), bei den übrigen drei ein Gleichbleiben oder Herabgehen des systolischen Druckes konstatieren.

Im Luftbad machte sich etwa 10—20 Minuten nach Beginn ein Sinken des systolischen Druckes fast ausnahmslos bemerkbar, während der diastolische Druck nur unbedeutend herabging. Die Abnahme des Druckes ist ohne weiteres durch die Erweiterung der Strombahn in den Hautgefäßgebieten verständlich.

c) Einfluß auf die Atmung.

Während der Respirationsversuche, die 1903 auf Westerland von A. Loewy und Franz Müller an ihnen selbst und an Frau Müller ausgeführt wurden, herrschte scharfes Seeklima, dagegen 1909 während der Beobachtungszeit nicht. Die Versuche wurden entweder am völlig nüchternen Individuum früh morgens bei Bettruhe oder nach dem Luft- oder Seebade mehrere Stunden nach einem knappen Frühstück ohne Eiweiß ausgeführt.

Mittelwerte morgens, ruhend, nüchtern.

	Atemvolumen pro Minute Liter red.		Kohlensäurebildung pro Minute ccm		Sauerstoffverbrauch pro Minute ccm		Respiratorischer Quotient	
	Berlin	Sylt	Berlin	Sylt	Berlin	Sylt	Berlin	Sylt
Frau M. 1903	3,8	4,5	167	171	205	215	0,82	0,80
Loewy 1903	4,5	5,0	179	208	227	254	0,79	0,83
Loewy 1909	4,5	4,2	151	136	186	183	0,81	0,76
Müller 1903	5,2	5,3	210	221	249	269	0,84	0,82
Müller 1909	4,6	4,3	195	162	220	208	0,88	0,78
Cronheim 1909	5,1	4,8	155	143	190	188	0,85	0,76
Frau Cr. 1909	4,5	4,7	159	143	192	185	0,83	0,77
Bornstein 1909	4,7	4,8	210	172	251	235	0,84	0,74

Die Tabelle zeigt für 1903 eine starke Steigerung des respiratorischen Stoffwechsels, 1909 keine Änderung, im Gegenteil in den ersten Tagen nach der Ankunft bei allen eine Tendenz zum Sinken. Da alle Versuchspersonen an die Respirationsversuche gewöhnt waren, muß man eine wirkliche Herabsetzung des Gaswechsels annehmen. Die nach mehrwöchigem Aufenthalt gemachten Versuche stimmten mit den Berliner nach der Rückkehr gefundenen Zahlen fast genau überein. Der Unterschied zwischen 1903 und 1909 ist aber trotzdem nur ein quantitativer, denn ebenso, wie 1903, folgte auf kurzdauernde Seebäder eine noch viele Stunden nach dem Verlassen des Bades anhaltende Steigerung des Ruhegaswechsels wie der Atemmechanik. So betrug das Atemvolumen pro Minute 1903 noch eine Stunde nach dem 4. und 6. Bad bei Loewy 6,0 l, bei Müller $^3/_4$ Stunden nach dem 2. und 4. Bade 6,9 l gegenüber 5,0 und 5,3 l Ruhewerte. Ebenso war bei Loewy und Müller nach dem ersten Seebad 1909 der respiratorische Stoffwechsel noch 12 Stunden nach dem Bad gesteigert. Das starke Seeklima hatte 1903 also eine über Nacht andauernde Nachwirkung; da 1909 das Klima zu mild war, fehlte sie. Die Seebäder verfehlten aber beide Male ihre nachhaltige Wirkung auf den respiratorischen Gaswechsel nicht. Übrigens ist beachtenswert, daß 1909 unsere Wohnung über 1 km vom Strand entfernt lag, während wir 1903 bei dem stürmischen Wetter dem Strande viel näher wohnten. Es ist vorher auf S. 183 schon darauf hingewiesen worden, daß nicht an allen Stellen eines Seebades ausgesprochenes Seeklima herrschen muß. Möglicherweise hat auch dieser Umstand dazu beigetragen, daß das Resultat der beiden Beobachtungsreihen qualitativ ein so stark verschiedenes gewesen ist.

Die Luftbäder hatten 1909 bei Loewy und Bornstein die gleiche Wirkung wie 1903, allerdings wurde bei anderen Mitgliedern der Expedition keinerlei Steigerung des respiratorischen Ruhestoffwechsels weder durch Klima noch durch Bad gefunden. Immerhin beweisen die positiven Resultate, daß das scharfe Seeklima selbst oder bei schwacher Witterung in Gestalt des Luftbades imstande ist, die Verbrennungsprozesse über Stunden und Tage hinaus dauernd anzuregen, so daß man mit Steigerungen von 8—10% bei leicht erregbaren Individuen wohl rechnen darf. Auf Grund der klinischen Beobachtungen kann man für das leichter erregbare Kind mit seiner dem Wind stärker ausgesetzten Körperoberfläche eine erheblichere Steigerung vermuten. Sie

ist aber in Respirationsversuchen schwer einwandfrei feststellbar, da Kinder sich an sich schon schwer an derartige Versuche gewöhnen, und zumal in den ersten Tagen in der neuen Umgebung und unter Wirkung der starken Klimareize noch unruhiger und leichter ablenkbar sind.

d) Einfluß auf den Stoffwechsel.

Der 1909 in Berlin und Sylt an 4 Personen durchgeführte 5wöchentliche Stoffwechselversuch ergab keine irgendwie charakteristische Änderung im Eiweißstoffwechsel. Mit Beginn der Seebäder dagegen änderte sich das Bild. Zwar blieb die Eiweißausnutzung auch jetzt noch unbeeinflußt, aber die Stickstoffbilanz zeigt Abweichungen, und zwar bei Müller vom Gleichgewicht deutlich nach der negativen Seite im Sinne einer Zunahme der Eiweißzersetzung, bei Bornstein und Loewy nach der positiven im Sinne eines Eiweißansatzes: Schon am ersten Badetage steigt der Stickstoffumsatz bei M., und sinkt bei B. Beide hatten ausgesprochen gesteigerten Appetit. Ihr Körpergewicht blieb fast konstant. In der Nachperiode in Berlin wandelt sich die negative Bilanz bei M. in einen geringen Ansatz, so daß die Wirkung der Seebäder sehr deutlich hervortritt. Bei B. und auch bei Loewy steigt die Tendenz zum Ansatz.

Auch der kalorische Quotient des Harns, d. h. Stickstoff dividiert durch Kaloriengehalt pro Tag, weist in der Periode der Seebäder besonders bei Müller und Bornstein auf eine Beeinflussung des Eiweißabbaues in dem Sinne hin. daß Abbauprodukte mit höherem Brennwert zur Ausscheidung gelangen.

Diese Zahlen zeigen also, daß Seeklima und Seebad gemeinsam die Verbrennungsprozesse im Körper nicht unwesentlich zu steigern vermögen. Dem entspricht das Ergebnis der dynamometrischen und ergographischen Messungen von Cazin, Häberlin und B. Berliner (s. S. 193), sowie der Stoffwechselversuche an Kindern, die Franz Müller in den Jahren 1909—1913 zusammen mit O. Hellwig. C Häberlin und Erich Müller durchgeführt hat.

Diese Versuchsreihen bestanden in Wägungen und Messungen nebst genauen Wägungen und Analysen der aufgenommenen Nahrung. 1913 auch von Harn und Kot. Es mußte bei den Beobachtungen an Kindern von vornherein der Einfluß der Jahreszeit auf den kindlichen Stoffwechsel gebührend in Rechnung gestellt werden. In Bestätigung der statistischen Beobachtungen von Malling-Hansen und C. Schmidt-Monnard[1]) sah Franz Müller bei diesen Individualstatistiken von Großstadtkindern, daß der Gesamtumsatz, berechnet aus der Nahrungsaufnahme, ebenso wie der Nettoumsatz, d. h. Nahrungsaufnahme, nach Abzug von Harn und Kot, in den Frühjahrsmonaten sowohl in Berlin wie in einer Erholungsstätte nahe von Berlin größer war als im Sommer und im beginnenden Herbst, daß andererseits schon in der Walderholungsstätte nahe von Berlin die Gewichtszunahmen im Herbst am größten und im Sommer am kleinsten waren. Das Längenwachstum zeigt dagegen ein Maximum im Frühjahr und nimmt zum Herbst hin ab. Demgegenüber war unter dem Einfluß eines 5wöchentlichen Aufenthalts in Norderney von Mai bis Juni 1913 bei Knaben im Alter von 5½—12 Jahren das Längenwachstum im Juli und August

---

[1]) O. Hellwig und Franz Müller, Die Wirkung des Ostseeklimas. Veröffentl. d. Zentralstelle f. Balneol. Bd. I Nr. 11 S. 4 u. 5 und Bd. II S. 275: Franz Müller, Der Kraftwechsel des Schulkindes aus den arbeitenden Klassen in der Großstadt; S. 293: Franz Müller, Der Einfluß des Aufenthalts in einer Walderholungsstätte nahe der Großstadt auf den Stoffwechsel und das Wachstum von Schulkindern.

in Berlin stärker als im Frühjahr, also stand im Gegensatz zu dem normalen Verhalten. Der Eiweißansatz war bei den 15 Knaben, die zuvor und nach der Rückkehr in Berlin sowie in Norderney je 7 Tage lang einen genauen Stoffwechselversuch mit Einschluß der Mineralstoffe durchgemacht hatten, in Norderney zum Teil absolut, durchweg aber prozentisch im Vergleich zur Einnahme besser als in Berlin. Bei geringerer Schweißbildung waren die Harnmengen und damit die Harnstickstoffmengen erheblich herabgesetzt. Diese Tendenz zu positiver Stickstoffbilanz bestand in der Nachperiode im August nicht mehr. Genau wie bei den früheren Versuchen in Zinnowitz und in der Walderholungsstätte bei Berlin war nach dem Seeaufenthalt die Gewichtszunahme im Juli und August stärker als im Frühjahr trotz geringeren Brennwerts der Nahrung. Möglicherweise addierte sich zu der jahreszeitlichen Tendenz zum Ansatz eine Nachwirkung des Seeaufenthalts.

Übereinstimmend mit den Sylter Beobachtungen von 1909 an Erwachsenen wurde während des Aufenthalts in Norderney durch einen Umsatz von etwa 2200 Kalorien pro Quadratmeter Körperoberfläche bei den jüngeren 5—12jährigen nur geringe Gewichtszunahme erzielt; bei den älteren 13—15jährigen trat sogar Gewichtsverlust ein. Der Brennwert der Nahrung muß an der Nordsee den Ruhebedarf um mehr als 100% übersteigen, wenn der Bedarf gedeckt werden soll. Dem entsprechen auch die Massenwägungen des gesamten in dem Wyker Seehospiz an etwa 105 Kinder verabreichten Essens von Häberlin und Franz Müller unter Zurückwägung der auf den Tischen zurückgebliebenen Reste. Im Durchschnitt von 14 Tagen verzehrten 105 Kinder durchschnittlich pro Tag und Kind 19,192 g Stickstoff und 3707,5 Kalorien; dividiert durch das Mittel aus Anfangs- und Endgewicht jedes Kindes ergab sich pro Tag und Kilogramm 0,63 g N und 121,6 Kalorien. Schalten wir Rekonvaleszenten und chronische Kranke aus, die oft einen stärkeren Nahrungsbedarf haben, so wurde für 37 Knaben eine durchschnittliche Gewichtszunahme pro Tag von 67,5 g, für 44 Mädchen von 64,0 g gefunden. Der Nettoumsatz von 93 Kindern mit durchschnittlichem Körpergewicht von 28,5 kg bei 10 Jahren und täglicher Zunahme von 67,8 g ergab eine tägliche Durchschnittsaufnahme von

N	Kalorien	Kalorien pro qm	Nettoumsatz pro qm nach Abzug des Aufwandes für Ansatz	
			von Eiweiß	von Fett
17,94	3466	3715	2498	2400

Bei der sehr reichlichen Ernährung ist sicher nicht ausschließlich Eiweiß, sondern auch Fett angesetzt worden, so daß in Wahrheit der Nettoumsatz etwa 2700 Kalorien pro Quadratmeter betragen haben mag. Verglichen mit dem von Franz Müller gefundenen Nettoumsatz im Elternhaus in Charlottenburg von 1445 Kalorien und von etwa 1500 Kalorien in der Walderholungstätte bei Berlin zeigen diese Zahlen, wie stark die Verbrennungsprozesse des kindlichen Organismus durch das Nordseeklima gesteigert werden. Es ist klar, daß die entsprechend dem Alter relativ größere Oberfläche des Körpers nicht allein die Ursache dieser Steigerung gegenüber den Binnenlandswerten sein kann, sondern nur der Aufenthalt im Nordseeklima. Durch diese Zahlen wird verständlich, daß Kinder und auch Erwachsene im allgemeinen, wenn sie nicht wie in Friedenszeiten in besonderen Er-

holungsstätten ganz besonders reichlich ernährt werden, an der See eher ab- als zunehmen, und daß die Umstimmung des Organismus erst nach der Rückkehr in intensivem Ansatz deutlich wird.

Nicht ohne allgemeine Bedeutung scheint uns weiter das Resultat der Mineralstoffuntersuchungen von Erich und Franz Müller von 1913 zu sein. In Prozent der Einnahme war der Schwefelansatz bei den 15 Knaben Ende Juni in Norderney 26%, im August in Berlin 31% gegenüber 23% im Mai. Dies spricht dafür, daß durch die Reize des Seeaufenthalts schwefelhaltige Körperbestandteile (Haare, Nägel, Epidermis) reichlicher wachsen. Es ist übrigens nicht unbekannt, daß an der See die Nägel schnell wachsen. — Die Phosphorretention stieg sowohl absolut (pro Tag und Kilogramm 0,035 auf 0,043 g) als relativ in Prozent der Einnahme (33 auf 42) in Norderney deutlich an, um im Binnenlande wieder auf den ursprünglichen Wert zu fallen. Die Zunahme war im wesentlichen durch eine Verminderung der Ausscheidung von Phosphorsäure im Harn bedingt. Noch eindeutiger ist aber, daß in Norderney auch der Kalkansatz größer war als im Mai in Berlin (0,011 auf 0,015 g, 39 auf 48% der Einnahme). Im Gegensatz zur Phosphorsäure stieg der Kalkansatz im August noch weiter (0,017 g gleich 50%). Gleichzeitig wurde, wie vorstehend schon erwähnt, eine Steigerung des Längenwachstums in dieser Jahreszeit beobachtet, in der das Längenwachstum im allgemeinen schon stark nachläßt. Man darf in beiden wohl den Beweis dafür sehen, daß durch den Nordseeaufenthalt ein nachhaltiger Antrieb zu gesteigertem Muskel- und Knochenwachstum gegeben war. Die 15 Knaben hatten also in den 5 Wochen in Norderney Eiweiß, d. h. Muskelsubstanz, und Kalk mit Phosphor, d. h. Knochensubstanz, reichlich angesetzt. Sie waren fettärmer, möglicherweise auch wasserärmer geworden. Denn es scheint fast, als ob die Gewebe des menschlichen Organismus sich unter verschiedenen äußeren Bedingungen auf verschiedenen Wassergehalt einstellen können.

Skeptiker, wie A. Czerny, glauben nicht recht, daß diese Resultate auf rein klimatische Einflüsse zu beziehen sind, da in der Tat das Wachstum des Kindes nicht so schematisch gleichmäßig verläuft, wie es die Statistik anzeigt, und jeder ungewöhnliche Reiz das Wachstum eines zurückgebliebenen Kindes in zuvor nicht geahnter Weise gelegentlich zu steigern vermag. Man muß auch zugeben, daß — wie alle Kinder — so die Kinder dieser Versuchsreihe am Strande mehr Gelegenheit hatten, sich herumzutummeln als im Waisenhause, aus dem sie kamen und in das sie gingen. Doch bliebe die Nachwirkung auf das Längenwachstum und den Kalkansatz als Erfolg nur gesteigerter körperlicher Betätigung ohne Mitwirkung der Klimareize ebenso unverständlich. Ferner wird die Auffassung als reine Klimareizwirkung gestützt durch die auf S. 191 ff. näher ausgeführten psychologischen Beobachtungen. Man wird eben, wenn es sich um die Deutung der Wirkung des Klimas auf den Stoffwechsel des Menschen handelt, stets Einwände vorbringen können. Wenn aber ein Ergebnis methodisch einwandfreier Einzelversuche mit der jahrzehntelangen klinischen Beobachtung übereinstimmt, so hieße es m. E. den Tatsachen Gewalt antun, wenn man akzessorische Momente vor der Gesamtheit der Einflüsse der Milieuänderung bevorzugen wollte. Wenn wir daher auch niemals beweisen können, daß die Klimafaktoren allein ausschlaggebend gewesen sind, so darf doch als Gesamtresultat gesagt werden, daß genügend Wahrscheinlichkeit für die Anregung des Eiweiß-, des kalorischen und Mineralstoffwechsels durch einen Seeaufenthalt besteht, und daß auch die Anregung des kindlichen Knochenwachstums zum mindesten wahrscheinlich gemacht ist.

e) Einfluß auf die Harnabsonderung.

Beim Aufenthalt in feuchter Luft wie im Seeklima findet man bei Erwachsenen häufig eine Zunahme der Harnmenge, da die Schweißabsonderung gegenüber dem trockeneren Landklima relativ zurücktritt. In dem Stoffwechselversuch 1913 in Norderney (Erich und Franz Müller) wurde bei den 15 Knaben genau das Gegenteil festgestellt. Der Salzgehalt der Kost war in der Norderneyer Periode der gleiche wie in der Nachperiode in Berlin, die Nahrungsmasse in Norderney um 6% kleiner, und trotzdem hatten die Harnmengen im Durchschnitt um 25% abgenommen. Da in den Versuchswochen zuvor und in den Versuchstagen kühles, typisches Seeklima mit hoher Luftfeuchtigkeit herrschte, und auch keine sichtbare Schweißbildung beobachtet wurde, kann nicht diese als Ursache für die verminderte Harnausscheidung angesehen werden. Da auch das aufgenommene Trinkwasser gemessen wurde, ließ sich feststellen, daß die Kinder in Norderney weniger Durst hatten als zu Hause bei, wie gesagt, gleichem Salzgehalt der Nahrung! Man muß daher annehmen, daß die größere Luftfeuchtigkeit und niedrigere Außentemperatur geringere Wasseraufnahme mit Verminderung der Harnmenge bedingt haben. Erwachsene nehmen bei frei gewählter Kost an der See im allgemeinen mehr stark gewürzte und geräucherte Speisen ein als zu Haus und sind dadurch gezwungen, mehr Flüssigkeit aufzunehmen. Vielleicht erklärt sich so der Unterschied zwischen Erwachsenen und Kindern. Mit dem Seeklima selbst hat die Zunahme der Harnmengen wahrscheinlich nichts zu tun.

f) Einfluß des Seeklimas auf Muskeltätigkeit, Nervensystem[1]) und Psyche.

Die Wirkung, die das Klima unserer heimischen und der benachbarten Nord- und Ostseeküsten auf das Nervensystem des binnenländisch Akklimatisierten ausübt, ist empirisch gut bekannt. Es ist eine charakteristische Mischung von Erschlaffung und Erregung, in der je nach der Wetterlage und der persönlichen Reaktionsbereitschaft bald das eine, bald das andere überwiegt. Da alle Reaktionen sich im Rahmen der Individualität abspielen, so sind sie höchst mannigfaltig, aber es lassen sich immer wieder ganz bestimmte Wirkungen erkennen.

Bekannt ist die „Ruhigstellung des Gehirns“ an der See. Die höhere apperzeptive Geistestätigkeit, die Bewußtseinshöhe, erfährt eine Herabstimmung. Geistige Arbeit ist erschwert, begegnet inneren Widerständen und erfordert eine stärkere Willensanspannung. Das assoziative seelische Geschehen dagegen, sowie das Affekt- und Triebleben werden angeregt, nicht selten bis zu einem rauschartigen Grade. Eine psychomotorische Erregung macht sich geltend, seelisch in einem euphorisch gesteigerten Lebensgefühl, körperlich in verstärktem Bewegungsdrang. Während in der Regel beides, sowohl die Erschlaffung der höheren Geistestätigkeit, wie die psychomotorische Erregung lustvoll empfunden werden, kommen bei Personen von depressiv-reizbarer Gemütsart oder in vorübergehenden derartigen Phasen (z. B. Menstruation) oder bei psychotisch Disponierten auch sehr peinliche Erregungszustände zur Beobachtung.

Der verstärkte Drang zu körperlicher Bewegung pflegt bei Kindern und jugendlichen Personen am ausgesprochensten zu sein. Bei Erwachsenen tritt er mehr hinter das Phlegma des geistigen Ausruhens zurück.

In mehrfacher Wechselwirkung mit diesen seelischen Reaktionen steht ein rein körperlicher Effekt des Klimaeinflusses, nämlich eine Kräftigung der Muskulatur.

---

[1]) Literaturverzeichnis auf S. 199.

Experimentelle Untersuchungen haben diese empirisch bekannten Seeklimawirkungen bestätigt, ihre Spezifität für das Seeklima gegenüber den binnenländischen Erholungsklimaten bewiesen und ihre physiologische Erklärung angebahnt.

1. Sehr deutlich sind die Ergebnisse des Experiments hinsichtlich der körperlichen Betätigung und der Kräftigung der Muskulatur.

Untersuchungen an Kindern mit dem Dynamometer (Häberlin) ergaben einen Zuwachs an Druckkraft der rechten Hand um durchschnittlich 5—10 kg je nach dem Alter. Es würde naheliegen, diesen Zuwachs an Muskelkraft aus der stärkeren muskulären Betätigung der Kinder, dem ständigen Sichtummeln und dem Spielen und Graben am Strande zu erklären. Aber Häberlin und schon vorher Cazin fanden genau den gleichen Zuwachs an Muskelkraft bei Kindern, welche wegen Spondylitis, Gonitis, Koxitis u. dgl. ständig, teils im Zimmer, teils am Strande liegen mußten, also keinerlei Muskeltätigkeit übten. Diese Erscheinung läßt sich nur aus Klimareizen erklären, welche unmittelbar auf organischem Wege auf die Muskeln einwirken. Wir kommen unten hierauf zurück.

Ausführliche Untersuchungen über das Verhalten der muskulären Arbeitsleistung wurden von B. Berliner mehrfach an Ferienkoloniekindern an der Ost- und Nordsee angestellt. Es wurde mittels des Weilerschen Arbeitsschreibers die Höchstdruckkraft der rechten Hand, die Zahl der in bestimmtem Rhythmus bei höchster Willensanspannung geleisteten Kompressionen und die aus dieser Reihe von Kompressionen resultierende Gesamtarbeitsleistung fortlaufend gemessen. Bei diesen Versuchen bringt die Gesamtarbeitsleistung am reinsten die eigentliche Muskelkraft, die Kompressionszahl die psychomotorische Leistung, die einmalige Höchstleistung beide Anteile der körperlichen Arbeit gemischt, jedoch mehr die muskuläre Seite zum Ausdruck. Bei der überwiegenden Mehrzahl der Kinder erfuhren an der See alle drei Leistungen eine sehr beträchtliche Steigerung, die das zwei- bis dreifache der Leistung vor der Übersiedlung an die Küste erreichte. Nach der Rückkehr in die Heimat gingen die Leistungen wieder zurück, hielten sich aber bedeutend über den Werten vor dem Seeaufenthalt. An der See nimmt also die Muskelkraft stark zu, daneben besteht eine psychomotorische Erregung, ein erleichterter Antrieb zu muskulärer Betätigung. Die Ausschläge waren unter dem Einfluß besonders maritimen, kühlwindigen Wetters am stärksten.

Die Steigerung der Muskelkraft geht vollkommen parallel mit dem Anstiege des Körpergewichtes. Je größer die Gewichtszunahme, desto größer der Zuwachs an Muskelkraft, und umgekehrt.

Auch die Umfänge der Arme, unter besonderen Kautelen mit dem Maasschen Meßapparat gemessen, nahmen völlig gleichsinnig mit dem Anstiege der Muskelarbeitsleistung zu.

Dieses Parallelgehen der Muskelarbeitsleistung mit dem Körpergewicht und mit den Armumfängen, sowie der Umstand, daß der Zuwachs an Muskelkraft nach der Rückkehr in die Heimat (unter Berücksichtigung unten zu besprechender jahreszeitlicher Schwankungen) zum großen Teil erhalten blieb, rechtfertigt den Schluß, daß an der See Muskelsubstanz angesetzt wird (vgl. dazu Teil 2d: „Phosphorretention auf Norderney", S. 190).

Eine kleine Minderzahl der Kinder reagierte im entgegengesetzten Sinne, erlitt an der See Einbußen an Muskelkraft und genau gleichsinnig an Körpergewicht. Andere zeigten zeitweilig diese entgegengesetzte Reaktion. Es handelte sich um Kinder, welche den Reizen des Seeklimas dauernd oder vorübergehend nicht gewachsen waren

und unter Deklimatisation litten, sämtlich blutarme, nervenschwache, reizbare Konstitutionen.

Andere sonst gesunde und kräftige Kinder erlitten in der ersten Woche des Seeaufenthaltes Verluste an Muskelkraft und Körpergewicht, darunter solche Kinder, die nachher eine starke Steigerung beider erfuhren. Diese Erstwochenabnahmen sind bekannt und werden vielfach als gesetzmäßig angesehen. „Das Seeklima zehrt.“ Häberlin widerspricht dieser Gesetzmäßigkeit, die er an seinem Material nicht bestätigen konnte. Es mag sich um Verschiedenheiten des Regimes handeln. Da wir die Erstwochenabnahme gerade auch bei solchen Kindern sahen, die später einen hervorragenden Kurerfolg hatten, so halten wir dafür, daß für reaktionstüchtige Naturen diese anfängliche Deklimatisation ein wertvoller Reiz ist, auf den der Organismus mit einer kräftigen Überkompensation antwortet. Allerdings dürfte ein aufmerksames Individualisieren angezeigt sein.

Bei denjenigen Kindern, welche keinen Zuwachs oder sogar einen Verlust an Muskelkraft und Körpergewicht verzeichneten, war gleichwohl der Drang zu körperlicher Betätigung augenfällig gesteigert. Es war unverkennbar, daß das Klima die Psychomotorik derart reizte, daß diese Kinder sich mit ihren Kräften dauernd überausgabten. Dieser Reiz auf die Psychomotorik ist einer der primären Klimaeinflüsse. Er wirkt übend und kräftigend, nur bei mangelhafter oder noch nicht entfalteter Anpassungsfähigkeit „zehrend“.

Daß es sich bei diesen Reaktionen im Muskelsystem um eine spezifische Seeklimawirkung und nicht etwa um den Effekt einer allgemeinen Erholung und Verbesserung der Lebensbedingungen handelt, ist bewiesen. Bei Kindern einer Ferienkolonie im Walde, die zu einem gleichzeitigen Kontrollversuch dienten, wurde eine wesentliche Steigerung der Muskelkraft durchaus vermißt. Eine wohl vorhandene Zunahme des Körpergewichts betraf anscheinend überwiegend das Fett- und Stützgewebe.

Experimentelle Feststellungen dieser Art sind bislang nur an Kindern gemacht worden. Alle Erfahrungen sprechen aber dafür, daß Erwachsene sich genau ebenso verhalten.

Von großer Bedeutung für die Beeinflussung des Muskelsystems ist die Jahreszeit. Es ist bekannt, daß die Muskelkraft gesetzmäßig im Frühling eine Steigerung erfährt (Schuyten, Lehmann und Pedersen, Berliner). Wir fanden auch im Frühling, genau wie unter der Seeklimawirkung, die exakte Parallelität mit dem Körpergewicht und mit den Armumfängen und schlossen daraus auf einen Ansatz von organischer Muskelmasse. Da der Frühling an der See um einige Wochen später einsetzt, als im Binnenlande, so wird, wenn man sich im Mai oder Juni an die See begibt, die gleichgerichtete Klimawirkung sich auf die Frühlingswirkung aufpflanzen und einen besonders starken Effekt zeitigen. Man erlebt in diesem Falle an der See einen zweiten Frühling, der zugleich wegen des höheren Sonnenstandes ein solcher von mächtigerer Intensität ist. Wir sahen bei den Kindern, die wir im Juni an die See brachten, sehr viel stärkere Ausschläge, als bei denen, die im Hoch- und Spätsommer übersiedelten. Eine schon im Mai in Berlin eingetretene Muskelkräftigung setzte sich im Juni an der See unmittelbar in verstärktem Maße fort, während die Leistung derjenigen Kinder, die im Juni in Berlin blieben, wieder zurückging — als Erscheinung der sommerlichen Jahreszeit. Der gesetzmäßige Rückgang der Muskelkraft im Sommer im Anschlusse an die Frühjahrssteigerung muß bei der Beurteilung des Nacherfolges der in den Frühling oder Frühsommer fallenden Seeklimawirkung in Rechnung gestellt werden Man wird im Hinblick auf die mögliche Deklimatisation und die Reaktionstüchtigkeit

des Individuums auf die Jahreszeit Bedacht nehmen müssen. Im Frühling und Frühsommer ist das Seeklima „stärker" als in späterer Jahreszeit. Der Grund hierfür dürfte in der Verbindung kühlerer Temperaturen und frischer Seewinde mit stärkerer Sonnenstrahlung und verhältnismäßiger Trockenheit liegen. Die Monate Mai und Juni haben an unseren Küsten die stärkste Strahlung und die kleinste relative Feuchtigkeit (Kaßner, Hellmann).

2. Von geistigen Vorgängen gelang es uns, sowohl die Herabsetzung der höheren apperzeptiven Geistestätigkeit, als auch die Anregung des assoziativen und triebmäßigen psychischen Geschehens im Experiment festzuhalten (B. Berliner).

Die Leistungen der Aufmerksamkeit erfuhren an der See eine beträchtliche Herabsetzung, im Maximum um 13.5%, im Durchschnitt um 6%, gemessen mit der Methode der „behaltenen Glieder"[1]). Diese Herabsetzung war zu einem Teile, besonders bei den schwächlichen, durch den Schulunterricht stark angestrengten und erholungsbedürftigen Kindern, ausgeglichen durch die Erholungswirkung des Kuraufenthaltes, der in einer Steigerung der Aufmerksamkeitsleistung besteht. Die nähere Analyse der Ergebnisse, und insbesondere ein Kontrollversuch an Kindern einer Ferienkolonie im Walde, wo nur die Erholungswirkung in Betracht kam, ermöglichte eine gute Trennung dieser beiden Einflüsse, die wohl in den meisten Fällen nebeneinander hergehen und sich gegenseitig überlagern. Bei nicht erholungsbedürftigen, auf der Höhe ihrer geistigen Leistungsfähigkeit stehenden Personen dürfte das Seeklima, soweit sich aus praktischen Erfahrungen folgern läßt, eine weit stärkere Herabsetzung der Bewußtseinshöhe bewirken. Aber gerade in dieser Verbindung von „Ruhigstellung des Gehirns" und seiner Kräftigung durch Erholung dürfte einer der größten Heilwerte des Seeklimas liegen.

Die Herabstimmung der Bewußtseinshöhe war um so stärker, je größer der Zuwachs an Muskelkraft und Körpergewicht war — eine Bestätigung der bekannten „Verschiebung der Lebensvorgänge vom geistigen auf das körperliche Gebiet".

Wie die körperliche Betätigung an der See im Zeichen der psychomotorischen Erregung steht, so auch die geistige. Fortlaufende Prüfung einer einfachen, ohne stärkere Aufmerksamkeitsleistung auszuführenden geistigen Arbeit (Kraepelinscher Rechenversuch u. a.) ergab eine starke Arbeitsbeschleunigung. Die Auslösung der erforderlichen Willensvorgänge und Assoziationen ist erleichtert und wegen dieser Erleichterung von einem Lustaffekt begleitet. Das Verhalten ist im Grunde dasselbe, wie unter der Einwirkung leichter Dosen narkotischer Mittel.

Bei einigen dazu disponierten Kindern sahen wir die psychomotorische Erregung übermäßig, bis zu einem rauschartigen oder leicht manischen Grade gesteigert — das Bild des „Strandrausches". Der Vergleich mit der Alkoholwirkung, der in diesem Worte liegt, ist ein treffender.

Die psychomotorische Erregung mag zum Teil eine Folge der Herabsetzung der Bewußtseinshöhe sein, indem die mehr assoziative und triebhafte Geistestätigkeit von oberbewußten, hemmenden Einflüssen befreit wird. Zum andern Teile muß es sich aber um eine unmittelbare Reizwirkung auf die betreffenden niederen Großhirngebiete handeln; denn die Versuchspersonen, deren Aufmerksamkeitsleistung infolge der kompensierenden Erholungswirkung nicht herabgesetzt war, zeigten den gleichen Grad der psychomotorischen Erregung. Dagegen wurde sie bei den Kindern der Waldferienkolonie völlig vermißt.

---

[1]) Als Maß für die Leistung der Aufmerksamkeit dient bei dieser Methode die mehr oder weniger vollständige und richtige Wiedergabe von vorgesprochenen Zahlenreihen.

Eine andere psychische Tätigkeit, welche ähnlich wie die fortlaufende Rechenarbeit weniger vermittels der Aufmerksamkeit, als mehr „subkortikal" durch die angeborene oder eingeübte Feinheit der psychophysischen Konstitution geleistet wird, nämlich eine sog. Präzisionsarbeit, erfuhr gleichfalls eine Förderung — ein weiterer Ausdruck für die Anregung der unterbewußten seelischen Aktivität. Zur Prüfung diente das Halbieren von Strecken nach dem Augenmaße. Die Genauigkeit des Halbierens war an der See verbessert, und zwar in dem gleichen Maße, in dem die Aufmerksamkeit herabgesetzt war. Diese Begünstigung der Präzisionsarbeit durch Herabsetzung der Aufmerksamkeitsspannung ist jedoch an die Voraussetzung geknüpft, daß eine Anregung und Auffrischung unterbewußter seelischer Triebkräfte, der Psychomotorik, statthat. Wenn nicht, so folgt die Präzisionsleistung gleichsinnig dem Spannungsgrade der Aufmerksamkeit. Wir fanden in unsern langen Versuchsreihen, die wir 1911 und 1913 teils in Berlin und teils in Zinnowitz oder Norderney, bzw. an einer Ferienkolonie im Grunewald (Charlottenburger Waldschule) anstellten, diese Gleichzeitigkeit der positiven Beziehung der Präzisionsarbeit zur Psychomotorik und der negativen zur Aufmerksamkeit nur während einer gewissen Zeit des Frühlings und im Seeklima. Bei den Kindern im Walde, bei denen die Anregung der Psychomotorik nicht auftrat, war die Präzisionsleistung lediglich von der Aufmerksamkeitshöhe abhängig.

Bei der Verbesserung der Präzisionsarbeit an der See traten also die herabstimmenden und die erregenden Klimaeinflüsse in eigenartiger Weise gemischt in die Erscheinung. Diese Mischung läßt auch die Rechengeschwindigkeit ansteigen, sie beherrscht überhaupt das alltägliche seelische Verhalten. Unter der leicht narkotischen Wirkung auf die höchsten und der anregenden auf die niedrigeren Bewußtseinszentren erwachen die einer primitiveren Lebensstufe zugehörigen seelischen Vorgänge zu größerer Lebhaftigkeit. Ein Beispiel dafür ist auch die bekannte Anregung der Sexualsphäre im Seeklima.

Übersiedelt ein an kontinentales Klima Gewöhnter für längere Zeit an die See, so wird die geistige Leistungsfähigkeit vielfach dauernd herabgesetzt. Die Arbeit bedarf stärkerer Willensanspannung und ist subjektiv von Hemmungsgefühlen begleitet. Das psychische Gleichgewicht wird labiler, größere geistige Arbeitsanforderungen erzeugen Störungen des Wohlbefindens. Die Psyche ist mehr auf behagliches Ruhen und Aufnehmen, als auf Aktivität gestimmt (Hellpach).

3. Wie sind diese Wirkungen des Seeklimas zu erklären? Die Anschauungen darüber sind gegenwärtig, besonders nach Berliners letzten Arbeiten, noch sehr im Fluß. So werden die folgenden Erklärungsversuche nicht frei von Hypothetischem sein können.

Die beiden Wirkungsformen, Erregung und Erschlaffung, lassen sich zum Teil unmittelbar auf Wetterelemente zurückführen, von denen eine anregende bzw. erschlaffende Wirkung bekannt ist. Zum andern Teile sind sie sekundär aus Folgeerscheinungen der ursprünglichen physiologischen Reaktionen auf jene Wetterformen zu erklären.

Die wichtigsten Elemente des Seeklimas sind der Seewind, die starke Sonnenstrahlung und bei Ermangelung des Windes die feuchte Wärme.

Der Seewind setzt sensible Hautreize, welche immer erregend wirken. Der Sprachgebrauch bezeichnet ihn als „erfrischend". Zum zweiten entzieht der Seewind dem Körper Wärme, er setzt damit die Wärmeregulation in erhöhte Tätigkeit. Die physikalische Wärmeregulation, bestehend in Verengerung und nachfolgender reaktiver Erweiterung der Blutgefäße der Haut, gibt wiederum sensible Hautreize

ab, welche psychisch in Gefühlszustände im Sinne der Erfrischung umgemünzt werden. Die stärkste Wirkung des Seewindes aber besteht in dem Reiz auf die chemische Wärmeregulation. Die entzogene Wärme wird durch verstärkte Wärmebildung ersetzt, welche durch Muskeltätigkeit erfolgt. Der Seewind reizt die Muskeln zu gesteigerter Tätigkeit.

Dieser Reiz auf die Muskeltätigkeit ist ein sehr komplizierter Vorgang. Aufs engste sind hier physiologische und psychische Reaktionen miteinander verschmolzen, und von den letzteren wieder solche sehr verschiedenen Grades. Der Reiz der Wärmeentziehung bewirkt zum Teil reflektorisch, zum Teil triebhaft, d. h. auf psychischem Wege, einen verstärkten Muskeltonus. Auf psychischer Seite finden sich daneben alle Übergänge vom einfach Triebhaften bis zur bewußt willkürlichen Innervation und von einfacher Tonusverstärkung bis zu aktiven Zweckbewegungen. Die psychischen Muskelreaktionen sind wichtige Mittel zum Zwecke der Wärmeregulation. Ihre Außerachtlassung in der Wärme- und Stoffwechselphysiologie bedeutet eine Abstraktion und eine Entseelung der Natur, die nirgends ein Vorbild hat.

Die Bedeutung des Seewindes geht besonders daraus hervor, daß bei sehr kühlwindigem Wetter die Reaktionen besonders stark waren im Sinne einer Steigerung des allgemeinen Klimaeinflusses.

Der Zuwachs an Muskelsubstanz kann jedoch nur zum Teil auf diese durch den Seewind angeregte Erstraffung und Betätigung der Muskeln zurückgeführt werden. Daneben müssen andere, wahrscheinlich noch stärkere Einflüsse am Werke sein. Häberlins Kinder, die dauernd bettlägerig waren und trotzdem den gleichen Zuwachs an Muskelkraft hatten wie die anderen, die sich ständig im Freien tummelten, hatten keinerlei besondere muskuläre Betätigung. Der gesetzmäßige Anstieg der Muskelkraft im Frühling, der bei unsern Beobachtungen erheblich stärker war, als der an der See, kann gleichfalls nicht aus Muskelübung erklärt werden. Soweit neben dieser Kräftigung ein stärkererMuskelgebrauch beobachtet wird, kann er auch eine Folge unterbewußten stärkeren Muskelgefühls sein. Wir glauben, ohne daß ein sicherer Beweis bislang erbracht ist, daß es sich um eine Wirkung des Lichtes handelt, welche ihren Weg über die innere Sekretion nimmt. Sowohl der Frühling wie die Übersiedlung ins Seeklima bringen das Individuum unter einen Zuwachs von Strahlenwirkung.

Alle Veränderungen, die der Frühling an den hochorganisierten Lebewesen hervorruft, haben ihren Angelpunkt im System der inneren Sekretion unter Überwiegen — in diesem Falle — der Keimdrüsen. Das endokrine System ist der Transformator, in welchem die kosmischen Kräfte sich in physiologische und psychische Vorgänge umsetzen (Hart). Es kann nach den Untersuchungen von Lehmann und Pedersen, Gaedeken, Berliner u. a. und nach den zahlreichen Beobachtungen der Wirkung künstlicher Belichtung mit ultraviolettreichem Licht keinem Zweifel mehr unterliegen, daß die Strahlung, insbesondere die chemisch wirksame, einen starken Reiz auf die Keimdrüsen ausübt. Der Zusammenhang zwischen Keimdrüsentätigkeit und Muskelkraft anderseits ist bekannt.

Seeklima und Frühling haben noch eine zweite meteorische Eigenschaft gemeinsam, nämlich ein relatives Plus an Wärmewirkung, wenn man an der See die windschwachen, feuchtwarmen Tage im Kontrast zu der sonstigen Kühlwindigkeit in Betracht zieht. Wir fanden, daß die Schwüle an der See der Muskelarbeitsleistung durchaus nicht so ungünstig war, wie dies sonst allgemein der Fall ist. Nach den Untersuchungen von Steinach und Kammerer übt auch die Wärme einen Reiz auf die Keimdrüsentätigkeit aus.

Daß das Seeklima die Keimdrüsen stark beeinflußt, und zwar im Sinne der Funktionssteigerung, erhellt zweifelsfrei aus der bekannten Anregung der Sexualsphäre, die dem aufmerksamen Beobachter als eine ganz spezifische Klimawirkung erscheinen muß. In den gleichen Zusammenhang gehören die Beeinflussungen der Menstruation im Seeklima. Die Menses können vorzeitig oder verspätet auftreten oder zeitweilig ganz ausbleiben (Kurz).

Die auf geistigem Gebiete beobachtete psychomotorische Erregung wird man gleichfalls ursächlich auf den Seewind und die Sonnenstrahlung zurückführen müssen. Auch in diesem Punkte ergaben die Untersuchungen Berliners eine außerordentliche Ähnlichkeit zwischen Seeklima- und Frühlingswirkung.

Die Herabsetzung der Bewußtseinshöhe wird zum Teil auf die feuchtwarme Komponente des Seeklimas, deren sedative Wirkung bekannt ist, bezogen werden müssen. Daß auch hier endokrine Vorgänge beteiligt sind, ist wahrscheinlich.

Beides aber, sowohl die Herabsetzung der Bewußtseinshöhe, wie die psychomotorische Erregung sind auf der andern Seite eine gesetzmäßige Begleiterscheinung stärkerer Muskeltätigkeit, bedingt wahrscheinlich durch „Ermüdungsstoffe“, toxisch wirkende Zellzerfallsprodukte, welche auf die höchsten Großhirnzentren lähmend, auf die niederen erregend wirken. Auch die starke Steigerung der Muskelkraft im Frühling ist genau wie die an der See von einem anhaltenden Tiefstande der Aufmerksamkeit begleitet.

Ferner müssen vasomotorische Einflüsse auf das Großhirn angenommen werden. Die stärker arbeitenden und die nach der Arbeit sich restaurierenden Muskeln haben einen Mehrbedarf an Blut. Die durch Wind und Sonne hervorgerufene Rötung der Haut bedeutet eine weitere Blutverschiebung in die Körperoberfläche. Die in der Regel vermehrte Nahrungsaufnahme wird auch eine größere Blutmenge in die Bauchhöhle ableiten. Die Folge von all diesem muß eine relative Blutleere des Gehirns sein.

Die Übereinstimmungen zwischen der Wirkung des Seeklimas und des Frühlings sind so weitgehend, daß der Schluß berechtigt ist: Beim binnenländisch Akklimatisierten beeinflußt das Seeklima Körper und Geist in derselben Weise, wie im heimischen Klima der Frühling (B. Berliner). Die Wirkung des Seeklimas ist um so stärker, je mehr sie jahreszeitlich mit dem Frühling zusammenfällt. Welche Folgerungen sich hieraus für die Dosierung der Klimareize ergeben, wurde oben bereits erwähnt.

4. Die klimatisch-tonische[1]) Wirkung des Seeklimas auf die Psyche wird unterstützt durch die sinnlich-landschaftliche. Die Eintönigkeit, aber doch in Formen und Farben ständige Bewegtheit der großen Wasserfläche, die erregte Monotonie der Brandung und die ruhige starke Linie des weiten weißen Strandes, der Ernst der Nordsee- und die Lieblichkeit der Ostseelandschaft, alles das bildet eine Mischung beruhigender und erregender ästhetischer Eindrücke, welche mit den klimatischen Faktoren in seltener Weise harmoniert. Es gibt nicht wenige, auch zu Heil- und Erholungszwecken geschätzte Klimate, bei denen die tonische und die sinnliche Wirkung kontrastieren. So kann die Heiterkeit einer südlichen Landschaft in der Psyche fast unwirksam und ungenießbar gemacht werden durch den allzu sedativen, lähmenden Einfluß der milden, reizarmen Luft. Das Hochgebirge, dessen tonisch-klimatische Wirkung mit der der See manche Ähnlichkeit hat, wendet sich durch seinen

[1]) Der Begriff der „tonischen“ Klimawirkung im Gegensatz zur sinnlich-landschaftlichen im Sinne von Hellpach.

majestätischen Abstand von allen menschlichen Maßstäben, seine allzu sichtbaren Gefahrenmöglichkeiten und die Herausforderung zur körperlichen Bezwingung leicht zu einseitig an die ganz sthenischen Affekte und kann dadurch das seelische Gleichgewicht erholungs- und ruhebedürftiger Menschen stören. Freilich kann auch die Seelandschaft unserer heimischen Küsten auf manche Menschen bedrückend wirken. Die spezifisch beruhigende Wirkung der Wasserfläche kann in eine lähmende, „hypnotisierende" übergehen (Hellpach). Aber diese Fälle bilden die Ausnahme. Für die meisten Menschen besitzt die eigenartige Mischung beruhigender und erregender, ernster und heiterer Sinneseindrücke am Meere einen sehr vollkommenen Grad von Einfühlbarkeit und damit eine ausgesprochene, mächtige Erholungswirkung.

5. Das Klima unserer heimischen und der benachbarten Nord- und Ostseeküsten gehört nach der Einteilung von Hermann Weber zur Gruppe des mittelfeuchtkühlen Insel- und Küstenklimas. An andern Küsten weicht die Verteilung der sedativen und der erregenden Klimareize nicht unwesentlich ab. So soll nach Weber das Klima der südwestlichen Küste Englands mehr sedativ, das der östlichen mehr erregend wirken.

Wesentlich anders ist das feuchtwarme Insel- und Küstenklima beschaffen, dessen Hauptrepräsentanten Teneriffa, Madeira, St. Helena, die Azoren, Ceylon, Kuba, Florida u. a. sind. Dieses Klima hat einen sedativen bis erschlaffenden Einfluß.

Als feuchtkühles Insel- und Küstenklima wird das Klima der West- und Nordwestküsten Europas bezeichnet, welche unmittelbar unter der Wirkung des Golfstromes stehen. Die vom Meere kommenden Luftströmungen sind relativ warm und mit Feuchtigkeit gesättigt, die Küsten dadurch reich an Bewölkung und Niederschlägen. Diese Gegenden haben wenig Sonnenschein und eine sehr gleichmäßige, zwischen den einzelnen Jahreszeiten und zwischen Tag und Nacht wenig wechselnde Temperatur. Sie wirken dadurch stark sedativ, erschlaffend und deprimierend.

Mittelfeuchtwarm ist das Klima der Riviera di Levante, die spanische Süd- und die gegenüberliegende afrikanische Nordküste, Sizilien, Korsika, Venedig, Abbazia, Korfu usw., Biarritz, Arcachon. Hier überwiegt infolge der südlichen Lage die sedative Wirkung, doch können diese Orte im Winter unter vorherrschender Trockenheit einen mehr erregenden Charakter haben.

Trockenes Seeklima herrscht wegen des Überwiegens von Landwinden an der westlichen Riviera und an Teilen der Westküste Italiens und der Ostküste Spaniens. Es ist ausgezeichnet durch viel Sonnenschein, große Temperaturdifferenzen und zuweilen heftige Winde und hat dadurch eine tonisierende, anregende Wirkung. Auf Personen mit großer Reizbarkeit des Nervensystems wirkt es meist ungünstig (Weber).

Vor dem Kriege wurde der Plan lebhaft erörtert, auch die Hochsee für Heil- und Erholungszwecke nutzbar zu machen. Kurschiffe, schwimmende Sanatorien, sollten gebaut werden und in den best geeigneten Meeresteilen ohne bestimmtes Reiseziel kreuzen. Die Deutsche Gesellschaft für Meeresheilkunde hatte im Jahre 1914 mit Unterstützung des Reichsmarineamtes die Aufgabe übernommen, durch meteorologische Beobachtungen auf hoher See, insbesondere Strahlungsmessungen, die Grundlagen für die klimatologische Beurteilung der in Betracht kommenden Meeresgebiete zu ermitteln. Dieser großzügige Plan wurde durch den Krieg zerstört. Eine medizinische Klimatologie der Hochsee existiert heute ebensowenig, wie solche nach medizinisch-klimatologischen Gesichtspunkten ihren Kurs richtende Schiffe. Man hat zwar seit langem Seereisen zu Heilzwecken, insbesondere gegen Tuberkulose und

nervöse Leiden empfohlen und solche in die südeuropäischen Meere, aber auch nach Mittel- und Südamerika, Afrika, Indien usw. ausgeführt. Auf solchen Reisen spielen aber einmal die Besonderheiten des Schiffslebens, sodann vor allem die großen regionären Klimaunterschiede, die auf einer langen Reise durchlaufen werden, eine so überwiegende Rolle, daß man von einer eigentlichen Hochseekur in wissenschaftlichem Sinne heute noch nicht sprechen kann.

Literatur zu Abschnitt f.

Berliner, B., Experimentalpsychologische Untersuchungen über die Wirkung des Seeklimas. Veröffentl. d. Zentralstelle f. Balneol. Bd. II Heft 1; auch Zschr. f. Balneol. Bd. VI, 1913.

— Weitere experimentalpsychologische Untersuchungen über die Wirkung des Seeklimas im Vergleich zur Wirkung des Waldklimas. Zschr. f. physik. u. diät. Ther. Bd. 25 S. 346, 1921. Verkürzte Wiedergabe in Allg. Med. Zentralztg. 1921 S. 145.

— Der Einfluß von Klima, Wetter und Jahreszeit auf das Nerven- und Seelenleben. Wiesbaden 1914.

— Einige Richtlinien der klimatopsychologischen Forschung. Zschr. f. Balneol., Bd. 6, S. 7, 1913.

— Neue Wege der Klimatophysiologie und Klimatopsychologie. Veröffentl. a. d. Geb. d. Medizinalverwaltung Bd. XV, 3. Heft, S. 25 (Röchling-Festschrift).

Gaedeken, Über die psycho-physiologische Bedeutung der atmosphärischen Verhältnisse, insbesondere des Lichts. Zschr. f. Psychotherapie u. med. Psychol. Bd. III S. 129.

Glax, Klimatotherapie. Stuttgart 1906.

Häberlin, Meeresheilkunde, Seehospize und Volksgesundheit. Veröffentl. a. d. Geb. d. Medizinalverwaltung Bd. I Heft 6.

— Klimatophysiologische Beobachtungen an der Nordsee. Med. Klin., 1913.

Hellmann, Vergleichende Übersicht über die klimatischen Verhältnisse der deutschen Nordsee- und Ostseeküsten. Veröffentl. d. Zentralstelle f. Balneol. Bd. I Heft 3.

Hellpach, Die geopsychischen Erscheinungen. 2. Aufl. Leipzig 1917.

Hiller, Lehrbuch der Meeresheilkunde. Berlin 1913.

Kaßner, Das Klima der Sommermonate in Norddeutschland. Veröffentl. d. Zentralstelle f. Balneol. Bd. III Heft 7—10.

Kurz, Über den Einfluß des Seeklimas auf die Menstruation. Zentralbl. f. Thalassotherapie, II. Jahrg. 1910 Nr. 5.

Lehmann und Pedersen, Das Wetter und unsere Arbeit. Leipzig 1907.

Mayer, Klimatotherapie und Balneotherapie. Unter Zugrundelegung des gleichnamigen englischen Werkes von Sir Hermann Weber und Dr. F. Parkes Weber. Berlin 1907.

van Oordt, Physikalische Therapie innerer Krankheiten, 1. Bd.: Die Behandlung innerer Krankheiten durch Klima usw. Berlin 1920.

Schuyten, Über Wachstum der Muskelkraft bei Schülern während des Schuljahres. Zschr. f. Psychol. Bd. 23 S. 101.

Steinach und Kammerer, Klima und Mannbarkeit. Arch. f. Entwicklungsmechanik Bd. 46 Heft 2 u. 3.

Weitere Literatur bei den Vorgenannten.

Das Höhenklima.

Von Prof. Dr. A. Loewy (Davos).

Mit 2 Abbildungen.

Einleitung.

Von allen Klimaten ist das Höhenklima das erste gewesen, dessen physiologische Wirkungen auf Mensch und Tier methodisch untersucht worden sind. Der Anlaß dazu ging einerseits von den Studien Paul Berts[1]) über die Wirkungen von Luftdruckänderungen auf die Lebewesen aus, andererseits lenkten die schon alten Erfahrungen über die in großen Höhen auftretenden Krankheitserscheinungen die Aufmerksamkeit auf die Frage, welchem Klimafaktor diese ihr Entstehen verdanken, und damit auf das Studium der Höhenwirkungen im allgemeinen.

Wie Alt bereits im ersten Bande erörtert hat, ändern sich mit dem Aufstieg von der Meeresoberfläche die einzelnen Klimaelemente in charakteristischer Weise (vgl. Bd. I S. 488 ff.), so daß mit zunehmender Höhe allmählich ein mit besonderen Eigentümlichkeiten ausgestattetes Klima zur Ausbildung kommt. Nicht überall auf der Erdoberfläche tritt die Umbildung des Niederungsklimas in das Höhenklima bei der gleichen vertikalen Erhebung in gleichem Maße ein, vielmehr ist hierauf die geographische Breitenlage von wesentlichem Einfluß, derart, daß in unseren Breiten, also in den mitteleuropäischen Gebirgen bereits in 1000 m Höhe das Klima die Beschaffenheit des Höhenklimas annimmt, während es in den den Erdpolen näheren schon bei sehr viel geringerer Erhebung — z. B. in Norwegen bei 500—600 m Höhe — ausgeprägt ist. Umgekehrt bildet es sich in den dem Äquator näheren — niedrigeren — Breiten erst in weit bedeutenderen Höhen aus, so daß es in den peruanischen Anden und im Himalaja in 1500—2000 m Höhe noch nicht sein charakteristisches Verhalten zeigt.

Durch den allmählichen Übergang des Niederungs- in das eigentliche Höhenklima entstehen in mittleren Höhenlagen Übergangsklimate. Für unsere Breiten, in erster Linie für Mitteleuropa, das ja klimatherapeutisch für uns vor allem in Frage kommt, hat man danach verschiedene Zwischenklimate festgesetzt, die derart begrenzt werden, daß man bei Höhen zwischen 300 und 700 m von „Gebirgs-" oder Voralpenklima spricht, bei solchen zwischen 700 und 1000—1200 m von subalpinem Klima, zwischen 1200 und 1900 m von alpinem und bei höheren Lagen von hyperalpinem Klima. Das Klima von 1000 m aufwärts wird als „Höhenklima" zusammengefaßt.

In welcher Weise und in welchem Ausmaße sich die Klimaelemente des Niederungsklimas mit zunehmender Höhe ändern, hat Alt großenteils auseinandergesetzt

[1]) Paul Bert, La pression barométrique. Paris 1878.

(Bd. I S. 488 ff.), so daß bezüglich der Einzelheiten auf dessen Darstellung verwiesen werden kann. Hier sei nur zusammenfassend wiederholt, daß fast jedes Klimaelement eine eigentümliche Umänderung erfährt.

A. Kurze Beschreibung des Höhenklimas.

1. Luftdruck.

Am gesetzmäßigsten ändert sich der Luftdruck, der mit der Höhe mehr und mehr abnimmt. Die Luftdrucksenkung ist nicht an allen Punkten der Erdoberfläche gleichmäßig, so daß nicht überall gleiche Höhenlagen den gleichen Luftdruck haben. Sie ist vielmehr abhängig von der Lufttemperatur. Je höher diese, um so langsamer nimmt der Luftdruck ab, so daß gleiche Höhenlagen bei hohen Lufttemperaturen einen höheren Luftdruck haben als bei niedrigen. Außer den von Alt in Bd. I dieses Werkes S. 479 mitgeteilten Zahlen wird dies auch durch folgende, einer bei Hann[1]) sich findenden Tabelle entnommene erläutert:

Tabelle 1.
Barometerdruck in Millimetern.

Höhe	Lufttemperaturen		
m	0°	10°	25°
1000	671	675	679
2000	590	596	604
3000	517	525	536
4000	452	461	475

Die Differenzen prägen sich mit zunehmender Höhe mehr und mehr aus, sind aber zu geringfügig, um vom ärztlich-klimatologischen Standpunkt eine besondere Rolle zu spielen.

2. Verdampfungskraft.

Wichtiger ist die mit der Abnahme des Luftdruckes einhergehende Steigerung der Verdampfungskraft. Sie bewirkt eine schnelle Wasserentziehung, die hygienisch mannigfach von Wert ist: die tierischen Nahrungsmittel trocknen schnell und werden so vor Fäulnis bewahrt, der an die Oberfläche des Körpers tretende Schweiß wird schnell zur Verdampfung gebracht, damit die Körperoberfläche abgekühlt und die Wärmeregulierung erleichtert. So kommt es, daß man im Höhenklima leichter und mit weniger Beschwerden körperliche Arbeit leisten kann, als im Niederungsklima.

3. Temperatur.

Wie der Luftdruck nimmt auch die Lufttemperatur mit der Höhe ab. Ihre Abnahme ist unabhängig von der geographischen Breitenlage. Um so bedeutsamer sind für ihr Verhalten lokale Bedingungen, auf deren Natur und Wirkung durch Alt im ersten Bande näher eingegangen ist. Hier sei nur als praktisch wichtig betont, daß die Temperaturabnahme der Luft geringer ist über Tälern als über frei aufsteigenden Bergen in gleicher Höhenlage, daß also die Luft niedriger temperiert ist über letzteren als über ersteren, und zwar um so mehr, je geringer sie an Masse sind und je isolierter sie stehen.

[1]) Hann, Handb. d. Klimatologie. 3. Aufl. Stuttgart 1908. Bd. I S. 197.

Von Einfluß auf die Temperaturabnahme der Luft ist die Tageszeit und die Jahreszeit: nachts und im Winter geht sie langsamer vor sich als am Tage und im Sommer. So beträgt sie für Europa im Winter 0,45° für eine Erhebung um 100 m, im Sommer 0,70°, so daß 1° Wärmeabnahme im Winter einer Erhebung um 222 m, im Sommer um nur 143 m entspricht. Auch die Bewölkung spielt eine Rolle; nach Süring ist die Temperaturabnahme mit der Höhe geringer bei klarem Wetter als bei bedecktem Himmel. Im Jahresdurchschnitt beträgt sie im ersteren Falle 0,3°, im letzteren 0,6°.

Klimatologisch wichtig ist die von Alt an verschiedenen Stellen besprochene und ursächlich erklärte sog. Temperaturumkehrung, die darin besteht, daß — besonders im Winter in windstillen, klaren Nächten — die Temperatur der Atmosphäre über Hochebenen mit der Höhe zu- anstatt abnimmt, und daß auch die Lehnen und Kuppen der Berge eine höhere Temperatur haben als die von ihnen umschlossenen Täler. Die Temperaturdifferenzen können sehr erheblich sein, wie aus der von Alt S. 490 mitgeteilten Tabelle hervorgeht, wonach z. B. Klagenfurt in 440 m Höhe eine mittlere Wintertemperatur von —4,6° C hat, Hüttenberg und Lölling (Berghaus) oberhalb Klagenfurt jedoch —2,3° bei 780 m bzw. —1,5° bei 1100 m Höhe.

Dieses Verhalten der Lufttemperatur ist wichtig für die Vegetation, und seine Beachtung hat dazu geführt gegen Frost empfindliche Pflanzen (Weinstock, Kaffeebaum in Brasilien) nicht in den Tälern, vielmehr auf den Hängen bzw. auf Hügeln anzupflanzen. Es ist hygienisch auch dadurch bedeutungsvoll, daß die tiefer gelegenen Orte unter Nebelbildung leiden, die durch die Kondensation des Wasserdampfes der Atmosphäre infolge der niedrigen Lufttemperaturen zustande kommt, während die höher gelegenen klares und trockenes Wetter haben.

Der Unterschied zwischen Gebirgstälern einerseits und Hochebenen bzw. Berglehnen oder -kuppen andererseits drückt sich auch in dem verschiedenartigen Gange der jährlichen und täglichen Temperaturschwankungen aus. Abgesehen von den Hochtälern nimmt die Breite der Temperaturschwankungen mit der Höhe ab. In welchem Maße das geschieht, zeigen die folgenden Beispiele.

Tabelle 2.

Die Jahresschwankung der Temperatur beträgt für	Höhe m	Lufttemperatur im Januar	Lufttemperatur im Juli	Lufttemperatur im Jahresmittel	Jahresschwankung °C
1. Tauern:					
Pinzgau	840	—5,9	15,8	5,6	21,7
Gastein	1110	—4,7	14,0	5,0	18,7
Schafberg, Schmittenhöhe	1860	—6,3	9,3	1,1	15,6
Sonnblickgipfel	3105	—13,6	1,1	—6,5	14,7
2. Schweizer Alpen:					
a) Altstätten	470	—1,7	18,2	8,6	19,9
a) Gäbris (Gipfel)	1250	—1,9	13,4	5,1	15,3
a) Rigikulm	1787	—4,5	9,9	2,0	14,4
b) Churwalden (freie Hohe)	1212	—2,3	14,2	5,5	16,5
b) Schuls (Tallage)	1243	—6,0	15,5	5,3	21,5
c) Bevers (Engadin) Tallage	1710	—9,9	11,8	1,2	21,7
c) Sils-Maria (Engadin), Tallage	1810	—8,1	11,2	1,5	19,3

Die Orte unter 1 geben einen Vergleich von Tallagen mit Gipfeln, ebenso die unter 2a. Hier ist die Abnahme der jährlichen Temperaturschwankung mit der Höhe sehr beträchtlich. Dagegen zeigen, wie sich aus 2b erkennen läßt, Hochtäler weit stärkere jährliche Temperaturschwankungen als Gipfel oder doch Orte in freien Lagen gleicher Höhe: Schuls ist gegenüber Churwalden trotz gleicher Höhenlage beträchtlich im Nachteil, wozu die viel niedrigere Januartemperatur beiträgt; ebenso haben — vgl. 2e — die Engadintalorte Bevers und Sils-Maria weit tiefere Januartemperaturen und eine weit größere jährliche Temperaturschwankung als Rigikulm und Schafberggipfel.

Vom ärztlich-klimatologischen Standpunkte wichtiger als der Verlauf der jährlichen ist der der täglichen Temperaturschwankungen. Die Höhenlage ist auf sie von noch geringerem Einflusse als auf die Jahresschwankungen, viel mehr bestimmend sind die örtlichen Verhältnisse. Das Gesetz, daß die Temperaturextreme mit der Höhe zusammenrücken, gilt hinsichtlich der täglichen Schwankungen eigentlich nur für die freie Atmosphäre und für freie Berggipfel und Hänge, besonders je isolierter diese sind. Selbst für ausgedehnte Hochebenen gilt es nicht mehr, und Hochtäler zeichnen sich im Gegenteil durch größere tägliche Wärmeschwankungen aus als selbst gleichhohe Orte auf freien Ebenen. Die Talsohlen haben geradezu „exzessive" tägliche Temperaturschwankungen.

Folgende bei Hann sich findenden Beobachtungen können dies erläutern.

Tabelle 3.
Mittlere tägliche Temperaturänderung (Mittel von 8 Jahren).

Ort	Höhe m	Temperatur Januar 7 Uhr	Temperatur Januar 1 Uhr	Differenz	Temperatur Juli 7 Uhr	Temperatur Juli 1 Uhr	Differenz
Zürich, Luzern	460	—2,8	—0,2	2,6	16,6	23,2	6,6
Rigikulm	1787	—4,7	—3,1	1,6	10,2	12,6	2,7
Bevers u. Sils (Tal)	1760	—12,4	—4,8	7,6	9,5	16,5	7,0
Gäbris (freie Höhe)	1200	—3,0	—1,1	1,9	14,0	17,2	3,2
Schuls (Tal)	1240	—9,1	—2,9	6,2	13,8	21,3	7,5
Reckingen (Tal)	1350	—9,4	—2,5	6,9	11,7	19,7	8,0

Auf freien Höhen (Rigikulm, Gäbris) sind im Winter die Morgentemperaturen erheblich, auch die Mittagstemperaturen noch deutlich höher als in gleichhohen Talorten; im Sommer ist die morgendliche Wärme gleichfalls höher, die mittägliche Wärme dagegen geringer auf freien Höhen als im Tale. Das heißt also: auf den Berghöhen sind die Winter, besonders die Winternächte, milder als in den Tälern, und die Sommertage sind weniger heiß als in letzteren.

Aber für die Ausbildung der täglichen Temperaturmaxima und -minima kommen weitere örtliche Bedingungen in Betracht. Vor allem die Exposition gegen die Sonne und davon abhängig die Dauer der Sonnenbestrahlung, ferner lokale Winde, die warme oder kalte Luft zuführen.

Alle diese Umstände sind für die praktische Verwertung des Höhenklimas von besonderer Wichtigkeit, und die Verordnung einer Höhenkur verlangt eine genaue Kenntnis örtlicher Verhältnisse, um die günstigsten Bedingungen der Temperatur, der Strahlung, der Luftbewegungen sich zunutze zu machen.

4. Luftfeuchtigkeit.

Die Veränderungen, die die Luftfeuchtigkeit zeigt, und die in einer schnellen Abnahme ihres Wasserdampfgehaltes bestehen, sind wichtig für die Strahlungsverhältnisse des Höhenklimas, da der Wassergehalt der Luft einen wesentlichen Faktor für die Absorption der Sonnenstrahlen abgibt.

Die Schnelligkeit des Wasserverlustes mit der Höhe lehrt folgende Tabelle:

Tabelle 4[1]).

Seehöhe m	Wasserdampf	Luftdruck
0	100	100
1000	73	88
2000	49	78
3000	35	69
4000	24	61
5000	17	54
6000	12	47

In 2000 m Höhe ist die Wasserdampfmenge schon auf 49% der in Seehöhe gesunken, während der Luftdruck noch 78% des vollen Atmosphärendruckes ausmacht. Erst in etwa 5500 m Höhe besteht der halbe Atmosphärendruck, während die Wassermenge schon bis auf ca. 15% abgenommen hat.

Der geringe Wassergehalt der Höhenluft steht in ursächlicher Beziehung zur Bewölkung, Nebel- und Niederschlagbildung.

Im Gegensatz zum absoluten Wasserdampfgehalt zeigt der relative keine gesetzliche Beziehung zur Höhe. Hierauf, sowie auf die Bedeutung der Luftströme für die Feuchtigkeitsverhältnisse der Höhenluft, und im Zusammenhang damit auf die vom ärztlich-klimatologischen Standpunkte sehr wichtige Erscheinung, daß in den Höhen — im Gegensatz zum Tieflande — die Wintermonate trocken und heiter, die Sommermonate feuchter und bewölkter sind, ist Alt bereits in Bd. I S. 492 ff. eingegangen.

5. Sonnenstrahlung.

Wesentliche und klimatologisch bedeutsame Veränderungen weist im Höhenklima die Sonnenstrahlung auf. An ihnen sind sowohl die Wärme-, wie die leuchtenden, wie die chemisch wirksamen Strahlen beteiligt.

Für die genaue Bestimmung jeder dieser Strahlengattungen, um diesen kurzen und nach den Ausführungen im Abschnitt „Allgemeine Klimatophysiologie“ (S. 27) nicht mißverständlichen Ausdruck zu gebrauchen, sind neuerdings besondere Methoden ausgearbeitet worden, die eingehend von Dorno im ersten Bande geschildert worden sind. Mit ihrer Hilfe hat Dorno durch mehrere Jahre fortlaufende Untersuchungen in Davos ausgeführt und den Tages- und Jahresverlauf der Sonnenstrahlen für diesen Platz genau ermittelt[2]). Allerdings spielen für Davos lokale Einflüsse mit, so daß die Dornoschen Werte wohl in ihren allgemeinen Ergebnissen, nicht aber in allen Einzelheiten auf das Höhenklima im ganzen übertragen werden können. Sie im einzelnen hier anzuführen, würde zu weit führen. Es können nur kurz die Besonderheiten der Strahlungsverhältnisse im Höhenklima gestreift werden.

[1]) Nach Hann, Handb. d. Klimatologie. 3. Aufl. Bd. I S. 241 (gekürzt).

[2]) Dorno, Luft und Licht des Hochgebirges. Braunschweig 1911.

a) Wärmestrahlung.

Die Gesamtstrahlung und damit die Wärmestrahlung nehmen im Höhenklima zu, und zwar mehr als der Abnahme des Luftdruckes entspricht. Denn ihre Absorption durch die Atmosphäre wird vermindert nicht nur dadurch, daß die zu durchstrahlenden Luftschichten an Menge und Dichte verringert sind, sondern auch durch den geringeren Wasserdampfgehalt der höheren Luftschichten. Dabei ist die Strahlungsenergie schon bei Sonnenaufgang hoch und bleibt es bis zum Untergehen der Sonne.

Über den Grad und die Wirksamkeit der Sonnenstrahlung belehren am einfachsten die, wenn auch nicht absoluten Werte, welche durch Vergleichung der Lufttemperatur im Schatten mit der Temperatur eines der Sonnenstrahlung ausgesetzten Schwarzkugelthermometers mit Vakuumhülle („Solarthermometer") gewonnen sind.

Hann gibt dafür folgende Beispiele nach Beobachtungen von Frankland:

Tabelle 5.

Ort	Höhe m	Temperatur im Schatten	Temperatur in der Sonne	Temperaturdifferenzen
Oatland Park	46	30,0	41,5	11,5
Riffelberg	2570	24,5	45,5	21,0
Hörnli	2890	20,1	48,1	28,0
Gornergrat	3140	14,2	47,0	32,8
oder				
Pontresina	1800	26,5	44,0	17,5
Berninahospiz	2330	19,1	46,4	37,3
Diavolezza	2980	6,0	59,5	53,5

Mit steigender Höhe wächst die Differenz durch Zunahme der Temperatur des Solarthermometers. Auf der Monte-Rosa-Spitze stellten Zuntz, Loewy, Müller, Caspari[1]) eine Schattentemperatur von —14°, am Solarthermometer eine von 54° fest, Differenz: 68°. In Leh (Tibet), 3517 m, waren nach Capley die Werte: 23,9 zu 101,7°, wifferenz: 77,8° C.

Auch in absoluten Zahlen—in Kalorien—ausgedrückt, ergibt sich die Zunahme der Strahlung mit der Höhe. So fand Angström auf Teneriffa:

Tabelle 6.

Seehöhe m	Luftdruck mm	Kalorien pro Quadratzentimeter und Minute
360	734	1,36
2125	597	1,53
3252	519	1,58
3682	492	1,61

Orientieren die mit dem Solarthermometer gefundenen Zahlen auch über die mit der Höhe zunehmende Strahlungsintensität, so geben sie doch über ihren Jahresverlauf unzutreffende Vorstellungen. Danach würde das Höchstmaß der Strahlung in den Sommer fallen, während nach den Dornoschen Messungen für Davos es in die Frühlingsmonate fällt, und selbst viele Herbstwerte die Sommerwerte übertreffen.

[1]) Zuntz, Loewy, Müller, Caspari, Höhenklima und Bergwanderungen. Berlin 1906, S. 45.

Die Stärke der Sonnenstrahlung im Hochgebirge ist hygienisch günstig, da sie trotz niedriger Lufttemperatur den Aufenthalt im Freien, ohne Kältegefühl zu erzeugen, gestattet — sie hebt eben die sog. klimatische Temperatur. Aber der starke Temperaturunterschied, der zwischen besonnten und beschatteten Stellen besteht, gibt — besonders im Winter — beim Übergang von ersteren in letztere Anlaß zu übermäßiger Wärmeabgabe und damit die Gefahr von Erkrankungen. Für den ausgiebigen Genuß der Sonnenstrahlung spielt in der Höhe, zumal in der kalten Jahreszeit, die Lage des Ortes zur Sonne, die „Exposition“, eine bedeutende Rolle: die am längsten betrahlten Südseiten sind auf der nördlichen Erdhalbkugel hygienisch vorteilhafter als die Ost- oder West- und noch mehr als die Nordseiten.

b) Helligkeitsstrahlung.

Auch die Helligkeitsstrahlung ist im Höhenklima weit stärker als im Tieflande. Zahlenmäßiges Material dafür haben besonders Dornos Messungen (a. a. O.) gebracht. Dabei hat das diffuse Himmelslicht einen geringeren Anteil an dem gesamten, als im Tieflande. In Davos machen im Jahresmittel das diffuse Licht nur 11,5%, das Sonnenlicht 88,5% des Gesamtlichtes aus.

Bewölkung kann die Gesamthelligkeit unter Umständen steigern, bei klarbleibender Sonne wird die Stärke des diffusen Lichtes durch einen mittleren Bewölkungsgrad erheblich erhöht.

Eine starke Zunahme erfährt auch die Intensität der chemisch wirksamen Sonnenstrahlung im Höhenklima, da der Wasserdunst der unteren Luftschichten gerade die kurzwelligen Teile des Spektrums stark absorbiert, die Strahlung im Tieflande also arm an ihnen ist. Die absoluten Verhältnisse sind heute schwer zu beurteilen, da sich aus Dornos Messungen ergeben hat, daß die meist benutzte photographische Methode Werte liefert, die erheblich von den mit der zuverlässigen photometrischen gewonnenen abweichen.

c) Chemisch wirksame Strahlung.

Erwähnenswert ist, daß, wie in bezug auf andere Klimaelemente, auch in der chemischen Strahlung das Höhenklima ausgeglichener ist als das Tieflandklima, indem die Strahlungssummen während des Winters weniger von den des Sommers abweichen als in letzterem.

Die Feststellungen der absoluten Strahlungsintensitäten durch Dorno können zu wichtigen praktischen Folgerungen führen; denn es wäre möglich, mit ihrer Hilfe genaue und in bekannter Weise abgestufte Lichtbestrahlungen zu Heilzwecken vorzunehmen, wenn Menge und Art der Lichtstrahlung in ihrem täglichen und jährlichen Verlaufe bekannt sind. —

Die starke Sonnenstrahlung im Höhenklima führt naturgemäß zu einer nicht nur relativ, sondern auch absolut stärkeren Erwärmung des Bodens, und das nicht nur an seiner Oberfläche, sondern auch noch bis in eine gewisse Tiefe.

So fand Martins (nach Hann) folgende Werte für gleichzeitige Untersuchungen:

Tabelle 7.

Ort	Höhe m	Lufttemperatur	Bodentemperatur an d. Oberfläche	Differenz	Bodentemperatur in 5 cm Tiefe
Bagnères	551	22,3°	36,1°	13,8	25,5°
Pic du Midi	2877	10,1°	33,8°	23,7	17,1°

Danach übertraf also die Temperatur der Bodenoberfläche die der Luft auf dem Pic du Midi um 23,7°, die in 5 cm Bodentiefe war um 7° höher, während in dem tief und nur 14½ km von ihm entfernt gelegenen Bagnères die Bodenoberfläche nur um 13,8°, der Boden in 5 cm Tiefe nur 3,2° wärmer als die Luft waren.

Dieses Verhalten ist wichtig für die Vegetation und auch zum Teil für das Tierleben; denn deren Gedeihen — und das der Vegetation ist ja klimatisch wertvoll — sind nicht allein von der Lufttemperatur, sondern auch von der Bodenwärme abhängig.

Erwähnt sei schließlich, daß wie die Einstrahlung auch die Ausstrahlung vom Boden mit der Höhe zunimmt. Dabei ist letztere viel erheblicher als erstere. Während nach Tabelle 6 die Einstrahlung bei einem Aufstieg um etwa 3000 m um 20% zunimmt, ist die Steigerung der Ausstrahlung zu etwa 40% für den gleichen Höhenunterschied gefunden worden.

6. Bewölkung und Sonnenscheindauer.

Ein eigentümliches Verhalten zeigt im Höäenklima der tägliche und jährliche Verlauf der Bewölkung und der Sonnenscheindauer. Im Gegensatze zum Tieflande hat der Winter die geringste Bewölkung und die meisten Sonnenscheinstunden, der Sommer dagegen die reichlichste Bewölkung. Dabei sind im Winter die Mittagsstunden durch die größte Häufigkeit des Sonnenscheins ausgezeichnet, während in den anderen Jahreszeiten das Höchstmaß an Sonnenschein sich in den Vormittagsstunden findet, im Sommer (nach einer Zusammenstellung Hanns aus den Alpen) schon von 8—9 Uhr früh, worauf dann zunehmende Bewölkung eintritt.

Die Tatsache, daß im Gebirge im Winter, d. h. „zur Zeit des kürzesten Tages, der geringsten Insolation und Erwärmung des Bodens, die Mittagsstunden am sonnigsten“ sind, ist für die Benutzung des Höhenklimas für Winterkuren bedeutungsvoll. Das umgekehrte Verhalten der mittäglichen Bewölkung im Sommer hängt mit von dem erwärmten Boden aufsteigenden wasserdampfhaltigen Luftströmungen zusammen.

7. Niederschläge.

Diese Luftströmungen stehen nicht nur mit der Ausbildung der Bewölkung in Zusammenhang, sondern auch mit der der Niederschläge.

Über die physikalischen Beziehungen, die zwischen diesen beiden Klimaelementen und der Ausbildung der Gebirge bestehen, hat Alt in Bd. I S. 480 ff. das Wesentliche mitgeteilt[1]). Aus seinen Ausführungen geht hervor, daß Berge teils selbst aufsteigende Luftbewegungen erzeugen, teils die sie erreichenden allgemeinen Luftströmungen zwingen, an ihnen emporzusteigen. Da die emporsteigende Luft sich infolge des niedriger werdenden Luftdruckes ausdehnt, kühlt sie sich ab und es kommt früher oder später zur Kondensation des in ihr enthaltenen Wasserdampfes.

Oberhalb dieser Zone sind die Niederschläge geringfügig. Wichtig ist nun, daß die Höhe der Kondensationszone wechselt je nach der Temperatur und relativen Feuchtigkeit der aufsteigenden Luft. Je niedriger temperiert die aufsteigende Luft ist und je wasserreicher, in um so geringeren Höhen erfolgt die Kondensierung ihres Wassers. Daher liegt die Kondensationszone im Winter niedriger als im Sommer, über mit Pflanzenwuchs bedecktem Boden niedriger als über kahlem. Sie liegt so hoch, daß die deutschen Mittelgebirge unter ihr liegen, also regenreich sind. So beträgt die Regenmenge in ihnen bei

[1]) Vgl. auch Hann, Handb. d. Klimatologie. 3. Aufl. Stuttgart 1908. Bd. I S. 241 ff.

1—200 m Höhe 58 cm,
500—700 „ „ 78 „
700—1000 „ „ 100 „

Erst die über 1000 m Höhe gelegenen Orte, also besonders die in den Alpen, liegen im Winter über der Kondensationszone; in ihnen sind also, im Gegensatz zum Tieflande, die winterlichen Niederschläge gering, das Wetter heiter.

Für die Verteilung der Niederschläge bedeutungsvoll ist die Lage der Gebirge zu den regenführenden Winden, d. h. zu den, die vom Meere oder aus niedrigeren Breiten herkommen. Liegen die Gebirge quer zu den Winden, so haben sie eine sog. feuchte (dem Winde zugewendete) und eine sog. trockene (von ihm abgewendete) Seite. Die Unterschiede in der Regenmenge beider Seiten können sehr beträchtlich sein. So hat die Westküste Norwegens 100—190 cm Regenfall, die Ostküste 40—50 cm. Auf der Nordseite der nördlichen Kalkalpen haben Tegernsee 118, Salzburg 116 cm, auf der Südseite Landeck 74, Innsbruck 87 cm. — Es ist also das Klima auf der einen Seite feucht und kühl, auf der anderen warm und trocken, was wieder auf das Maß der Insolation und auf die Art und Ausbildung der Vegetation zurückwirkt.

In regenarmen Gegenden machen die durch Gebirge veranlaßten Regenfälle vielfach überhaupt erst einen Pflanzenwuchs möglich, so daß im Hochgebirge sich Wälder finden, während die tieferen Landstriche Steppe oder Wüste darstellen. So reicht südlich am Kilimandscharo das Steppengebiet bis 1300 m Höhe, dann folgt bis 1800 m Kulturland, bis 2800 m Urwald, bis 4000 m Grasflur[1]). Oder in den Rocky Mountains von Kolorado und Kalifornien ist nach Loew[2]) unter 1000 m Wüste, bis 1500 m Halbwüste. Dann beginnt die Pflanzendecke sich auszubilden, so daß zwischen 2000 und 2400 m große Urwälder bestehen.

Klimatisch wichtig ist weiter das Verhalten der Schneebedeckung. Vom ärztlichen Standpunkt kommt dabei weniger die meteorologisch wichtige Schneegrenze, d. h. die untere Grenze der dauernden Schneebedeckung in Betracht, als vielmehr die Dauer der winterlichen Schneedecke. Diese steht wesentlich in Abhängigkeit von lokalen Verhältnissen: der mittleren Lufttemperatur der Wintermonate, der Reichlichkeit der Winterniederschläge, der Exposition gegen die Sonne. Auch die Lage gegenüber kalten oder warmen Winden, die Bodengestaltung (tiefe Täler oder freie Hochlage) spielen eine Rolle. Die klimatologische und zugleich hygienische Bedeutung der Schneedecke[3]) liegt darin, daß die Luft über ihr sich nicht erwärmt, keine aufsteigenden Luftströmungen entstehen, keine lokalen Winde, auch keine Nebel und wenig Bewölkung, daß die Atmosphäre geringe relative Feuchtigkeit besitzt, und damit wieder starke Sonnenstrahlung herrscht. Sind Gebirgsorte mit lange ruhender Schneedecke in Hochtälern gelegen, die gegen das Einbrechen allgemeiner Luftströmungen geschützt sind, und besitzen sie dadurch windstilles Wetter, so stellen sie die klimatisch begünstigtesten und empfehlenswertesten Höhenkurorte dar (Arosa, Davos, St. Moritz).

8. Luftbewegungen.

Die Bedeutung der Luftbewegungen im Gebirge und ihre Ursachen sind in Bd. I S. 477 ff. eingehend besprochen. Die Gebirge rufen einerseits bestimmte Luftströmungen hervor, die besonders in den Gebirgstälern als typische Tag- und

[1]) H. Meyer, Der Kilimandscharo. Berlin 1900.
[2]) O. Loew, Die Wüsten Nordamerikas.
[3]) Vgl. auch Kapitel „Allgemeine Klimatophysiologie (B 4, S. 59 ff.).

Nachtwinde in Erscheinung treten. Erstere — aus physikalischen Ursachen zu den Bergen aufsteigend — haben dadurch klimatische Bedeutung, daß sie die wasserreiche Luft aus den Niederungen in die Höhe führen, wodurch es in den Mittag- oder Nachmittagstunden zu Bewölkung und Niederschlägen kommt, während in der Tiefe klares Wetter herrschen kann. Umgekehrt nachts. Die durch die in der Höhe stärkere nächtliche Ausstrahlung abgekühlte Luft sinkt in die Tiefe, die Höhenluft wird trocken und klar, während sich in der Tiefe Wolken und Nebel bilden. Hygienisch günstig wirken diese Winde durch den Luftwechsel, den sie in Tälern erzeugen, und durch die damit verbundene Regulierung der Lufttemperatur und -feuchtigkeit.

Neben dieser Erzeugung lokaler Luftströmungen verändern aber die Gebirge auch die allgemeinen Luftbewegungen. Die so entstehenden Winde gehören in die Gruppe der Fallwinde (Bd. I S. 482). Am bekanntesten ist der mit dem Namen Föhn belegte warme und trockene Fallwind der Alpen. Er weht am häufigsten in den Winter- und Herbstmonaten und führt da, wo er häufiger weht, zu einer Erhöhung der mittleren Temperatur, die das Gedeihen der Vegetation fördert, den Anbau sonst in gleicher Höhenlage nicht gedeihender Pflanzen (Wein, Mais) möglich macht. Auch tritt die Schneeschmelze frühzeitig ein. Diesen günstigen klimatischen stehen weniger günstige hygienische Wirkungen gegenüber: der Föhn macht Abgeschlagenheit, Mattigkeit, Kopfweh und führt zu starker Wasserabgabe von Haut und Lungen[1]). Ob die nervösen Erscheinungen im Zusammenhang stehen mit der Beeinflussung der Luftelektrizität durch den Föhn, ist nicht sicher bekannt. Er steigert nach Dorno die elektrische Leitfähigkeit der Luft, während der von der Erde zur Atmosphäre gehende Vertikalstrom aufhört. Daher laden sich Nichtleiter, auch der Mensch, mit Elektrizität auf.

Einen kalten Fallwind stellt die an den Nordküsten des Adriatischen Meeres wehende Bora dar und der in Südfrankreich wehende Mistral.

9. Windschutz.

Sind die Gebirge an der Erzeugung von Luftbewegungen beteiligt, so wirken sie andererseits schützend auf die von ihnen umschlossenen Täler. Der durch sie veranlaßte Windschutz, dessen allgemeiner klimatischer Bedeutung bereits im Kapitel „Allgemeine Klimatophysiologie“ (S. 74) Erwähnung geschah, ist klimatisch wiederum durch seinen Einfluß auf das Pflanzenwachstum wichtig; unter ihm kommt es zu Ausbildung reicherer Vegetation in Hochtälern als in auf gleicher Höhe gelegenen freien Hochebenen. Hygienisch tritt seine Bedeutung darin hervor, daß die im Kapitel „Allgemeine Klimatophysiologie“ (S. 25 ff.) besprochenen Wirkungen auf die wärmeregulatorischen Vorgänge, die durch den abkühlenden Effekt des Windes hervorgerufen werden, fortfallen. Der Aufenthalt im Freien ist bei Windstille weit ausgedehnter möglich.

Eine Hervorhebung verdient endlich der wichtige Einfluß, den die Lage der Gebirge für die Beschaffenheit des Klimas großer Landstriche, sogar ganzer Ländermassen hat. Laufen die Gebirge westöstlich, so halten sie die von den Polen herkommenden kalten Winde ab, und das Klima ist an ihrer Nord- und Südseite ganz verschieden. Am nächsten liegt für uns die Wirkung, die die Alpen in dieser Hinsicht haben. Klima und damit der Charakter der Vegetation sind an ihrer Nord- und Südseite ganz abweichend voneinander, die Mittel der Winter- und der Jahrestemperaturen an letzterer weit höher als an ersterer. Daß das Gebirge der dafür

[1]) C. Dorno, Veröffentl. d. Zentralstr. f. Balneologie Heft 7.

bei sich selbst sowie bei eingeborenen Menschen und Tieren bei einem Aufstiege auf maßgebende Faktor ist, ergibt sich daraus, daß weit südlicher, aber nicht mehr im Windschutz der Alpen liegende Orte niedrigere Temperaturen haben. So sind die Wintertemperaturen bei der Villa Carlotta am Comer See um 2,4°, die von Riva am Gardasee um 1,5° höher als die von Mailand. Das Klima der Riviera wird erst wieder von dem Neapels erreicht.

Ebenso, nur noch intensiver, ist der Windschutz, den der Himalaja für das nördliche Indien abgibt.

Wo westöstlich verlaufende Gebirge fehlen, werden die polaren Luftströmungen weit nach Süden getragen und bewirken dort starke Temperatursenkungen. So leiden unter ihnen die Südstaaten von Nordamerika und der Mexikanische Golf. — Umgekehrt können durch die Lage der Gebirge auch abnorm hohe Sommertemperaturen zustande kommen. So in Kalifornien und Ostsibirien, wo die nahe der Meeresküste und ihr parallel verlaufenden Gebirge das Eindringen kühlerer Seewinde verhindern.

10. Reinheit der Luft, elektrisches Verhalten.

Über die Reinheit der Höhenluft, über ihre Zusammensetzung, besonders ihren Ozongehalt ist in der Allgemeinen Klimatophysiologie das Nötige mitgeteilt (S. 75 ff.). — Auch ihr elektrisches Verhalten, das manche Eigentümlichkeiten bietet, ist dort schon besprochen worden[1]). Am eingehendsten und fortlaufend ist es für Davos von Dorno bestimmt worden. Er fand für das Potentialgefälle niedrige absolute Werte, einen ausgeprägten Winter- und Sommertypus derart, daß auf den Winter ein Maximum, auf den Sommer ein Minimum fällt, große Jahres- und Tagesamplituden. Diesem Verhalten gerade entgegengesetzt, spiegelbildlich gewissermaßen, ist der Verlauf der Leitfähigkeit. Ihr absoluter Wert ist demnach größer als im Tieflande. Dabei gehen die positive und negative Leitfähigkeit einander parallel im täglichen und jährlichen Gange. Das Verhältnis beider $\left(\frac{\lambda +}{\lambda -}\right)$ fand Dorno im Mittel an ungestörten Tagen größer als 1 (1,13 im Mittel), also eine Unipolarität. — Bezüglich der mannigfachen meteorologischen Einflüsse, wie Barometerstand, Winde, Wolken, auf die Leitfähigkeit muß auf die Dornosche Monographie verwiesen werden. Die dort mitgeteilten Werte sind nach Anordnung, Berücksichtigung der verschiedensten Faktoren und der Zahl nach die sichersten. Von anderen Forschern gefundene Einzelwerte stehen zuweilen zu ihnen im Gegensatz (vgl. auch „Allgemeine Klimatophysiologie, S. 68 ff.).

B. Die physiologischen Wirkungen des Höhenklimas.

1. Das Verhalten des Blutes.

Die ersten und wichtigsten Erkenntnisse über den Einfluß des Höhenklimas auf physiologische Vorgänge beziehen sich auf das Verhalten des Blutes. Sie beginnen mit Paul Bert, der fand, daß das Blut von Tieren, die in den bolivianischen Anden in 3700 m Höhe lebten, weit mehr Sauerstoff absorbierte, als das von Tieflandtieren. Auf seine Veranlassung bestimmte dann Viault die Blutzellenzahl

---

[1]) Literatur bis 1906 bei Zuntz, Loewy, Müller, Caspari, Höhenklima und Bergwanderungen. Berlin 1906. S. 68 ff. — Auch: Mache und v. Schweidler, Die atmosphärische Elektrizität. Braunschweig 1909. — Neuere Untersuchungen durch Dorno, Licht und Luft im Hochgebirge. Braunschweig 1911.

die peruanischen und bolivianischen Anden. In Lima, also im Meeresniveau, fand er 5 Millionen roter Zellen im Kubikmillimeter, beim Emporsteigen nahm ihre Zahl mehr und mehr zu, um in 4392 m Höhe — drei Wochen nach dem Aufenthalt in Lima — 7½—8 Millionen auszumachen.

Die Viaultschen Zählungen wurden von sehr zahlreichen Untersuchern nachgeprüft in den verschiedensten Ländern und Höhen[1]), und sie wurden ausnahmslos bestätigt. Das Interesse an seinen Ergebnissen mußte besonders groß sein, da es sich scheinbar um die Beeinflussung einer sonst bei Gesunden sehr konstant sich haltenden Größe durch Klimaeinflüsse handelte. — Bert hatte angenommen, daß es sich um eine zweckmäßige Anpassung an den Sauerstoffmangel der Höhenluft handelte, die im Laufe von Generationen sich ausgebildet hatte. Daß lange Zeiträume dazu nicht nötig waren, ergaben die Befunde von Müntz, der 1883 Kaninchen auf dem Pic du Midi in den Pyrenäen ca. 2877 m ausgesetzt hatte, und bei deren Nachkommen 1890 den Eisengehalt des Blutes wesentlich gesteigert fand. Aber Viaults Ergebnisse erwiesen, daß wenige Wochen genügten, um die Steigerung der Eisen bzw. Sauerstoff führenden Elemente des Blutes zustandezubringen.

In der Folge beteiligten sich außer Miescher und mehreren von dessen Schülern (besonders Egger, Jaquet), Zuntz und viele seiner Schüler, ferner Abderhalden an diesen Untersuchungen in den Alpen, die dann auch außerhalb dieser in niedrigeren Lagen, wie auch in höheren (letzteres z. B. im Himalaya) durchgeführt wurden. Mit besonders sorgfältiger Methode geschahen diese Untersuchungen durch Bürker[2]). Die Ergebnisse stimmten in den meisten Fällen überein und zeigten eine Zunahme der Zellenzahl mit der Höhe; nur das Ausmaß der Zunahme schwankte.

Der Kürze wegen seien die Ergebnisse, die an gesunden Menschen gewonnen wurden, die längere Zeit auf den betreffenden Höhen gelebt hatten, in einer von Meißen zusammengestellten Tabelle mitgeteilt.

Tabelle 8.

Ort und Name des Untersuchers	Höhenlage m	Zahl der roten Blutzellen im Kubikmillimeter
Christiania (Laache)	Seehöhe	4970000
Göttingen (Schaper)	148	5225000
Hohenhonnef (Schröder)	236	5332000
Tübingen (Reichert)	314	5322000
Zürich (Stierlein)	412	5752000
Auerbach i. V. (Wolff)	400—450	5748000
Görbersdorf (Schröder)	561	5800000
Reiboldsgrün (F. Wolff)	700	5970000
Dowrefjäll, Norwegen (Schauman)	950	6112000
Davos (Kündig)	1560	6551000
Arosa (Egger)	1800	7000000
Kordilleren (Viault)	4392	8000000

[1]) Zuerst von Miescher, Korrespondenzbl. f. Schweizer Ärzte 1893 S. 810, u. von seinen Schülern: Egger, Verh. d. Kongresses f. innere Med. 1893 S. 262 und Egger, Jaquet, Karcher, Suter, Veillon, Arch. f. exper. Path. 39.

Die ges. Lit. bis 1906 ist bearbeitet und aufgeführt bei Zuntz, Loewy, Müller, Caspari, Höhenklima und Bergwanderungen. Berlin 1906. Vgl. ferner: A. Jaquet, Physiol. Wirkungen d. Höhenklimas, Basel 1904, Durig, Kolmer, Rainer, Reichel, Caspari, Denkschr. d. Wien. Akad. d. Wissensch. Bd. 86 (1909) und Cohnheim, Ergebn. d. Physiol. 1911. Kürzere Zusammenfassungen neuerer Untersuchungen bei Durig, W. kl. W. 1911 und bei Stäubli, Zschr. f. Balneol. Bd. III (1910—1911).

[2]) Bürker, Jooss, Moll, Neumann: Z. f. Biol. 61, 379.

Mit der Rückkehr ins Tiefland ging die Erythrozytenzahl in wenigen Wochen zur Norm oder fast zur Norm zurück.

Die aus der Tabelle 8 sich ergebende Tatsache, daß mit der Höhenlage, wenn auch nicht streng parallel mit ihr, die Blutzellenzahl beim Menschen zunimmt, ist auch an Tieren bestätigt worden, sowohl an solchen, die dauernd in der Höhe lebten, als auch an nur zeitweilig emporgebrachten[1]). Die Vermehrung fand sich nicht nur im Kapillarblut, sondern auch im Blut der großen Gefäße (Carotis, Egger).

Einzelne Beobachtungen, die keine Steigerung erkennen lassen, wie die an Zuntz, Loewy und Genossen, beziehen sich vielleicht auf einen zu kurzen Aufenthalt, vielleicht auf besondere vasomotorische Wirkungen. —

Die ersten Untersucher hatten aus der Zunahme der Zellenzahl im Kubikmillimeter Blut ohne weiteres auf eine Zunahme der Gesamtzellenzahl im Körper geschlossen. Das ist natürlich nicht zulässig. Eine Änderung der Zellenzahl in der Volumeneinheit bedeutet ja zunächst nichts anderes, als daß das Verhältnis von Plasma zu zelligen Elementen sich zugunsten der letzteren verschoben hat, also nur eine relative Zunahme dieser. Das kann durch verschiedene Einflüsse, die gerade im Höhenklima in ausgesprochenem Maße wirksam sind, herbeigeführt werden.

Die niedrigeren Lufttemperaturen, die starke Luftbewegung, die starke Verdunstung wirken auf die Vasomotoren der Haut im Sinne einer Verengerung der Hautgefäße, die starke Sonnenstrahlung im Sinne einer Erweiterung. Im ersteren Falle fassen die Hautkapillaren weniger Blutzellen als normal; ein Teil wird aus ihnen verdrängt und muß Platz in anderen Teilen des Gefäßsystems finden, im letzteren ist das Verhalten umgekehrt. In der Tat fanden auch mehrere Autoren (Campbell, Armand-Delille und Mayer und Foà), daß die Zahl der Blutzellen in den Ohrgefäßen von Kaninchen sich gegensätzlich verhielt gegenüber der im Mesenterial- oder Herzblut oder dem der großen Gefäße. Wie gewaltig diese Wirkungen sein können, geht am besten aus Versuchen von A. und J. Loewy und Leo Zuntz hervor[2]). Indem sie sich abwechselnd auf dem Gletscher bei der Gnifettihütte (in 3700 m Höhe) oder in der warmen Hütte, in Sonne oder Schatten aufhielten, konnten sie im Zwischenraum von wenigen Minuten die Blutzellenzahl in ihrem Ohrläppchenblut um Millionen verändern, bis zu einem Minimum von 3, bis zu einem Maximum von 7 Millionen.

Diese Änderungen in der Verteilung sind natürlich nicht für das Höhenklima spezifisch, wenn sie auch in ihm besonders ausgeprägt sein können.

Man hat auch noch weitere Erklärungen zu geben versucht. Grawitz zog die gesteigerte Verdunstung heran. Auch sie müßte zu einer relativen Vermehrung der Blutzellen, und zwar durch Eindickung des Blutes infolge übermäßiger Wasserabgabe führen. Aber dabei würde der Körper entsprechend der abgegebenen Wassermenge an Gewicht verlieren müssen, was nicht beobachtet wird. Gegen die Eindickung spricht auch der Befund von A. und J. Loewy und Leo Zuntz, daß die Dichte des Blutserums keine Steigerung, eher eine Verminderung aufweist. Auch der Trockenrückstand des Serums war bei Kaninchen, die längere Zeit in der Höhe (1800 bzw. 1560 m) gelebt hatten, im Vergleich mit solchen gleicher Rasse, die im Tieflande verblieben waren, nicht deutlich erhöht (Egger, Jaquet). Rinder und Schweine hatten allerdings, wie Abderhalden fand, in St. Moritz einen etwas höheren Trockenrückstand im Blutserum, als solche in Basel. Aber wie Jaquet hervorhebt, muß hier der Unterschied der Rasse und der Ernährung in Betracht gezogen werden.

[1]) Literatur bei Zuntz und Genossen a. a. O.

[2]) A. und J. Loewy und Leo Zuntz, Pflüg. Arch. Bd. 66 S. 477 (1897).

Auch bleibt, wie v. Korányi[1]) mit Hilfe des Refraktometers fand, der Brechungsexponent des Blutserums im Höhenklima der gleiche wie im Tieflande, ja bei einzelnen Personen kann er, ebenso wie die Viskosität des Blutserums, nach Webers[2]) Ergebnissen sinken. Letzteres kommt nach Weber durch Abnahme der Bluteiweiße, besonders der Globuline, zustande. Bestätigt wurden Webers Befunde durch Frenkel-Tissot[3]), der gleichfalls in Untersuchungen an 10 Personen Verminderung der Viskosität, Abnahme der Menge des Bluteiweißes und speziell der Globuline fand. Es könnte dies als Regulationsmittel zur Aufrechterhaltung der normalen Viskosität des Gesamtblutes betrachtet werden, die sonst bei wirklicher Zunahme der Blutzellenzahl mehr oder weniger erheblich steigen müßte.

Allerdings lauten die Ergebnisse der refraktometrischen Bestimmungen nicht übereinstimmend. So fand Peters[4]) bei drei gesunden Kindern eine Abnahme, bei 3 eine Steigerung; eine Abnahme auch bei 6 leichter Tuberkulösen, eine Zunahme bei 2 Schwerkranken. Und Bayeux und Chevalier[5]) geben an, daß auf dem Montblanc das Blutserum konzentrierter gefunden wurde als in Paris und Chamonix, und zwar das venöse mehr als das arterielle.

Gegen eine Eindickung des Blutes als ursächlichen Momentes für die Zellvermehrung in der Volumeneinheit sprechen auch die Ergebnisse von Jaquet und von Schauman und Rosenqvist, die Kaninchen unter Luftverdünnung in Kästen hielten, deren Luft mit Wasserdampf gesättigt war. Auch hierbei kam die Zunahme der Blutzellen zustande.

Bunge und Abderhalden wollten die Zellvermehrung so deuten, daß die klimatisch bedingte starke Kontraktion der Hautgefäße zu einer Blutdrucksteigerung und der damit erhöhte Filtrationsdruck zu gesteigertem Übertritt von Blutplasma in die Gewebslücken und Lymphbahnen führte. Dem widerspricht jedoch das Verhalten des Blutdruckes (vgl. S. 224) sowie die von den meisten Forschern festgestellte Tatsache, daß der Zellvermehrung keine gleich starke Zunahme an Hämoglobin entspricht, dessen Menge vielmehr hinter der der ersteren zurückbleibt, oder auch sie übertrifft. Das ergibt sich besonders aus den sehr exakten Versuchen von Bürker und Genossen[6]). Diese Inkongruenz spricht für eine Mehrbildung und vermehrte Einschwemmung von Zellen und Hämoglobin ins Blut. Es ist bekannt z. B. aus den Beobachtungen über Blutregeneration nach Blutverlusten, daß junge, in das Gefäßsystem eingeschwemmte Blutzellen abnorm arm an Hämoglobin sind, daß also auch hier die normale Beziehung zwischen Blutzellen und Hämoglobin gestört ist. Treten aber junge Zellen vermehrt ins Blut über, so könnte man hoffen, sie nachzuweisen durch ihren Kerngehalt. Die ersten, die auf kernhaltige rote Zellen im Blute fahndeten, waren A. und J. Loewy und L. Zuntz. Sie fanden keine, nachdem sie sich acht Tage in 2900 m und weitere acht Tage in 3700 m Höhe aufgehalten hatten. Auch im Blut von längere Zeit in der Höhe gehaltenen Tieren fanden Abderhalden und Foà keine, ebensowenig v. Schrötter und Zuntz nach einer zehnstündigen Ballonfahrt in Höhen von 3000—5000 m. Nur Gaule will bei Luftfahrten das Auftreten

---

[1]) A. v. Korányi in v. Korányi und Richter, Physikal. Chemie u. Medizin. Leipzig 1908. Bd. 2 S. 67.

[2]) H. Weber, Zschr. f. Biol. 70 S. 211 (1920).

[3]) H. C. Frenkel-Tissot: Schweiz. med. W. 52, S. 613 (1922).

[4]) E. Peters, Zschr. f. physik. diät. Ther. Bd. 25, XII (1921).

[5]) R. Bayeux und P. Chevalier, Compt. rend. T. 158. 1522.

[6]) Bürker, Jooss, Moll, Neumann, Zschr. f. Biol. 61 S. 379 (1913).

kernhaltiger roter Blutzellen beobachtet haben. Jedoch dürfte es sich bei ihm um Kunstprodukte gehandelt haben.

Der negative Befund kernhaltiger Zellen beweist natürlich nichts gegen eine absolute Zunahme der Zellenzahl im Blute. Denn im Gegensatz zum Aderlaß übt das Höhenklima eine langsame Wirkung aus, unter der allmählich ein gesteigerter Übertritt von fertigen jungen Zellen aus dem Knochenmarke ins Blut erfolgen kann. Diese Zellen haben zwar nicht beim Menschen (Masing und Morawitz[1]), wohl aber beim Kaninchen (Loewy und Förster[2]) eine erhöhte Sauerstoffzehrung, entsprechend der nach Aderlässen am Blut gefundenen.

Alle bisher aufgeführten Versuche konnten einen Beweis für eine Zellmehrbildung nicht erbringen.

Das Mißtrauen gegen die Anregung einer vermehrten Blutzellenbildung ging so weit, daß man die Wirklichkeit selbst der relativen Zunahme leugnete. Gottstein[3]), dann Meißen und Schröder[4]) behaupteten, daß rein physikalische Verhältnisse in der zum Zählen benutzten Thoma-Zeißschen Kammer (geänderte Oberflächenspannung des Blutstropfens bzw. Änderung der Kapillarattraktion zwischen Blut und Kammerwänden in der verdünnten Luft) eine Zunahme der Zellen vortäuschen sollten. Gottstein nahm Zählungen abgetöteter Hefezellen unter normalem und vermindertem Luftdruck vor und seine Zahlen zeigen eine scheinbare Vermehrung im letzteren Falle. Aber auch bei Benutzung einer durch einen Schlitz mit der Außenluft kommunizierenden Zählkammer (Meißens und Schröders „Schlitzkammer"), wo diese physikalischen Einflüsse ausgeschaltet sein sollten, fanden Turban und Römisch[5]) doch eine Steigerung der Blutzellenzahl im Hochgebirge. Auch konnten Unterschiede in den Zahlenergebnissen bei beiderlei Kammern von verschiedenen Untersuchern nicht gefunden werden[6]).

Eine Entscheidung konnte nur erbracht werden durch Bestimmung des **Gesamthämoglobins** von gleichartigen Tieren, deren eine Hälfte im Hochgebirge, deren andere in der Tiefe gehalten wurde. — Solche führte zuerst Weiß[7]) aus, dann Jaquet und Suter[8]) (an Kaninchen), Loewy und Müller[9]) (an Hunden), in sehr großem Maßstabe Abderhalden[10]) (an Ratten und Kaninchen).

Keinen Unterschied fand nur Weiß, dessen Ergebnisse jedoch — nach Jaquets Kritik — nicht beweisend sind. Auch Abderhalden glaubte zunächst aus seinen Werten eine Vermehrung bei den Höhentieren nicht ableiten zu sollen. Eine präzisere Berechnung führt jedoch auch bei ihm, wie bei allen anderen genannten Untersuchern zu dem Schlusse, daß im Höhenklima die Gesamthämoglobinmenge höher ist als im Tieflande.

Das zeigt die Tabelle 9 auf umstehender Seite.

Der Grad der Zunahme wurde bei einem Vergleich der in die Höhe verbrachten mit den im Tieflande verbliebenen Geschwistertieren von den verschiedenen Untersuchern nicht sehr verschieden gefunden: 16,65—22,2%. Nur bei den in der Höhe geborenen Tieren war der Unterschied gegenüber den im Tieflande geborenen geringer.

Nach dem Verbringen der Höhentiere ins Tiefland nimmt die Gesamthämoglobinmenge wieder ab. Nach den Befunden an Abderhaldens Tieren beginnt die Abnahme etwa am 5. bis 6. Tage.

---

[1]) Masing und Morawitz, D. Arch. f. klin. Med. 98 S. 301 (1910).

[2]) Loewy und Förster, Bioch. Zeitschr. 145, 1924.

[3]) Gottstein, B. kl. W. 1898.

[4]) Meißen und Schröder, M. m. W. 1898 S. 112.

[5]) Römisch, Festschr. zum 50jähr. Bestehen d. Städt. Krankenhauses zu Dresden. Dresden.

[6]) Literatur bei Zuntz und Genossen a. a. O. S. 189.

[7]) J. Weiß, Zschr. f. physiolog. Chem. 22.

[8]) Jaquet und Suter, Korrespondenzbl. f. Schweizer Ärzte 1898.

[9]) Loewy und Müller bei Zuntz und Genossen, Höhenklima. Kap. VI.

[10]) Abderhalden, Zschr. f. Biol. 43 und Pflüg. Arch. 92.

Tabelle 9.

Hämoglobingehalt pro Körperkilogramm.

Untersucher	Tierart	Ort	Hämoglobin Gramm pro Körperkilogramm	Zunahme in Prozenten
Jaquet-Suter	Kaninchen	Basel	5,39	
		Davos	6,59	22 2
Abderhalden	Kaninchen	Basel	7,99	
	(in die Höhe verbracht)	St. Moritz	9,32	16,65
	Kaninchen	Basel	10,16	
	(an Ort u. Stelle geboren)	St. Moritz	11,04	7,68
	Ratten	Basel	8,92	
	(in die Höhe verbracht)	St. Moritz	10,62	19,06
	Ratten	Basel	9,92	
	(an Ort und Stelle geboren)	St. Moritz	10,78	8,70
Loewy-Müller	Hunde	Bern	10,78	
		Brienzer Rothorn	13,0	20,5

Von Einfluß ist auf den Umfang der Hämoglobinzunahme das Alter der Versuchstiere. Das ergibt sich aus einer dahingehenden Berechnung von Abderhaldens Zahlenwerten, die von diesem Gesichtspunkte in Tabelle 10 geordnet sind.

Tabelle 10.

Einfluß des Alters auf den Hämoglobingehalt pro Körperkilogramm.

Alter der Tiere	Hämoglobin pro Körperkilogramm in Gramm beim Aufenthalt in Basel	St. Moritz	Unterschied des Hämoglobingehaltes in Prozenten
6—9½ Monate	7,72	8,64	+ 11,92
3—5 „	7,48	9,06	+ 21,12
6 Wochen	8,50	10,96	+ 28,94

Je jünger also die Tiere, um so stärker die Hämoglobinvermehrung. Das hängt mit der in der Jugend regeren Tätigkeit des Knochenmarkes als Blutbildungsstätte zusammen, das, wie sich zeigen wird, mit der verstärkten Hämoglobinbildung im Höhenklima in Beziehung steht.

Wir haben es also im Höhenklima mit zweierlei Arten von Einwirkung auf das Blut zu tun: einer gewissermaßen akuten, die für das Höhenklima nicht spezifisch ist und, von seinen Wärmefaktoren hervorgerufen, durch Wirkung auf die Hautvasomotoren zu Änderungen der Blutverteilung führt, ferner mit einer langsamer — subakut — verlaufenden, die im Zeitraume von mehreren Wochen eine nur dem Höhenklima zukommende Steigerung der Gesamtzellenzahl und des Gesamthämoglobingehaltes hervorruft.

Letztere Wirkung ist bis jetzt allerdings direkt erst an Tieren, noch nicht am Menschen nachgewiesen. Für diesen konnte aber Laquer[1]) feststellen, daß neben der Hämoglobinzunahme in der Volumeneinheit auch die Gesamtblutmenge zunimmt.

In therapeutischer Hinsicht sind, wenn auch nach ganz verschiedenen Richtungen hin, beide Wirkungen wichtig: die letztgenannte zur Förderung der Blutbildung, die erstere zur Steigerung der Tätigkeit, also zur Übung, der Hautmuskeln und der damit zusammenhängenden Steigerung der Widerstandskraft gegen Witte-

[1]) Fr. Laquer, Klin. Wochenschr. Nr. 1, 1924.

rungseinflüsse. Die weitergehenden Wirkungen der Änderung der Blutverteilung auf die Herzarbeit und den Blutkreislauf entsprechen den im Kapitel „Allgemeine Klimatophysiologie" (B 2, S. 46 ff.) erörterten.

Welches ist nun das für die spezifische Anregung der Blutbildung verantwortliche Element des Höhenklimas?

In der „Allgemeinen Klimatophysiologie (S. 43) wurde schon erwähnt, daß Belichtung zu einer Zunahme der Blutzellenzahl in der Volumeneinheit führe. Aber ob dies eine Steigerung der Gesamtzellenzahl bedeutet, ist fraglich. Nach Versuchen von C. F. Meyer[1]) vermag das Licht des Höhenklimas nicht die für dieses charakteristischen Blutveränderungen hervorzurufen, nach Laquer und Peters[2]) findet auch bei dauernd bedecktem Himmel die Blutneubildung statt. Mag die Energie der Sonnenstrahlung im Höhenklima auch zu einer Anregung der Butbildung führen — sicher scheint dies für den Wiederersatz des Blutes bei experimentellem Aderlaß oder Intoxikationsanämien der Fall zu sein (Laquer, Weber[3])) —, so ist durch mehrere Untersuchungen jedenfalls sichergestellt, daß Verminderung des Luftdruckes die Gesamtmenge von Erythrozyten und Hämoglobin zu steigern vermag.

Daß unter Luftverdünnung die relative Blutzellenzahl ansteigt, hatten schon Regnard, Schröder sowie Schauman und Rosenqvist in Versuchen gezeigt, in denen sie Tiere mehr oder minder lange Zeit in Glocken hielten, in denen der Luftdruck erniedrigt gehalten wurde[4]). In den Versuchen der Letztgenannten, in denen Kaninchen, Hunde, Tauben bis zu mehreren Monaten bei 450 mm Barometerdruck, d. h. etwa 4000 m Höhe, verblieben, in einer Luft, die in ihren sonstigen Eigenschaften der Luft des Tieflandes entsprach, wurde auch das Auftreten zahlreicher kernhaltiger, d. h. also junger Erythrozyten im Blute festgestellt. — Die Zunahme des Gesamthämoglobins erwiesen Jaquet und Suter in ebenso angestellten Versuchen, in denen sie Kaninchen 4 Wochen bei 640 mm Barometerdruck, gleich etwa 1500 m Höhe, hielten und danach bei diesen 23% mehr Hämoglobin als bei gleich, aber unter dem Luftdruck von Basel gehaltenen Tieren fanden.

Dabei ist nicht etwa die Verdünnung der Luft als solche, vielmehr die mit ihr verknüpfte Sauerstoffverarmung das ursächliche Moment, denn bei Wachteln, die in sauerstoffarmer, aber unter Atmosphärendruck stehender Luft gehalten waren, fand Sellier gleichfalls das Ansteigen der Blutzellenzahl, und v. Korányi konnte die Blutzellenvermehrung beim Höhenaufenthalte durch Sauerstoffatmung rückgängig machen. Die Sauerstoffverarmung der Luft kann natürlich nur dann wirksam werden, wenn sie so hochgradig ist, daß sie zu einer ungenügenden Sauerstoffversorgung der der Blutbildung dienenden Organe führt. Die Sauerstoffversorgung der Organe hängt nun von der Sauerstoffmenge, die das Blut zu befördern vermag, ab und diese ist bedingt durch das Verhalten der Dissoziationsspannung des Oxyhämoglobins, d. h. der Beziehung zwischen der Sauerstoffspannung und der dabei vom Blutfarbstoff aufgenommenen Sauerstoffmenge. Die Sauerstoffspannung des arteriellen Blutes ist nun gleich der in den Lungenalveolen. Daß letzterer

---

[1]) C. F. Meyer, Einfl. d. Lichtes im Höhenklima. Basel 1900.

[2]) Laquer, D. Arch. f. klin. Med. 1913; Peters, D. m. W. 1920 Nr. 7; ebenso L. Meyer, M. m. W. 46 (1920).

[3]) H. Weber, Zschr. f. Biol. 70 S. 131 (1920), auch: O. Kestner: ebenda 73, S. 1 (1921).

[4]) Die Zunahme der Blutzellenzahl, die Gregg, Lutz, Schneider bei Menschen fanden, die sie kurze Zeit in einer Kammer unter Luftverdünnung hielten, hat mit Zellenbildung nichts zu tun. (Amer. Journ. of physiol. 50 S. 216 (1919/1920)).

Wert im Höhenklima niedriger liegen muß als im Tieflande, ist vorauszusetzen, und in welchem Maße das der Fall ist, wird später (S. 232) eingehender nachgewiesen werden. In Höhen von etwa 2000—2500 m macht sich bei einzelnen Personen eine unzureichende Sauerstoffzufuhr schon subjektiv bemerklich. Aber für Höhen bis zu 1000 m hinab, und bis zu dieser Höhe ist ja anscheinend die Zunahme der Blutzellenzahl nachgewiesen, wird gewöhnlich ein allgemeiner Sauerstoffmangel nicht angenommen. Um am Sauerstoffmangel als auslösendem Faktor auch für diese geringen Höhen festzuhalten, wollten Schauman und Rosenqvist[1]) die hier bestehende Schwierigkeit dadurch umgehen, daß sie annahmen, daß die Blutbildungsorgane in bezug auf die Zellnenbildung derart eingestellt sind, daß sie bei Atmosphärendruck gerade genügend mit Sauerstoff versorgt sind, und daß auch schon geringe Drucksenkungen, die für den übrigen Körper bedeutungslos sind, für sie einen Reiz darstellen, der sie zu erhöhter Tätigkeit anregt.

Entgegen der allgemeinen Anschauung scheinen aber neuere Erfahrungen darzutun, daß, wofür auch einzelne der vorstehend mitgeteilten Tatsachen sprechen, durchaus nicht alle unsere Körperzellen unter großem Sauerstoffüberschuß tätig sind, daß einzelne Organe zwar Sauerstoff in einem gewissen Überschuß zugeführt erhalten, andere jedoch nicht viel mehr, als sie unter Atmosphärendruck gebrauchen, so daß bei diesen eine auch nur mäßige Abnahme der Sauerstoffspannung in den Lungenalveolen schon genügt, zum Beginn des Sauerstoffmangels zu führen. Dazu kommt, daß die Kohlensäurespannung des Blutes im Höhenklima meist abnimmt (vgl. S. 230), was zur Folge hat, daß die Sauerstoffabgabe von seiten des Blutes an die Körperzellen erschwert wird. Auch dies muß den Eintritt von Sauerstoffmangel der Gewebe befördern.

Daß jedenfalls die Hauptbildungsstätte, des Knochenmark, im Höhenklima, und zwar schon in 2100 m Höhe, sich abweichend von dem im Tieflande verhält, ist von Loewy und Müller[2]) am Hunde nachgewiesen worden. Sie konnten zeigen, daß bei Geschwistertieren, von denen ein Teil in Bern, ein Teil auf dem Brienzer Rothorn (2100 m Höhe) gehalten war, das Knochenmark derart verschieden war, daß es bei ersteren — entsprechend ihrem Alter — vorwiegend Fettmark, bei letzteren rotes, jugendliches, tätiges Mark darstellte, das weit reicher an kernhaltigen, roten Blutzellen war.

So hat das Höhenklima verjüngend auf das Knochenmark gewirkt, es hat die Umwandlung in Fettmark verzögert oder — falls dieses beim Verbringen ins Hochgebirge etwa schon gebildet war — seine Rückbildung in die Jugendform herbeigeführt.

An Kaninchen, die für mehrere Stunden bei 350—450 mm Barometerdruck gehalten waren, fanden Sundstroem und Bloor[3]) ausnahmslos eine Abnahme der Lipoidphosphormenge im Blutplasma. Sie denken an eine Wanderung der Blutlipoide ins Knochenmark und möchten darin den Reiz für die Steigerung seiner Tätigkeit erblicken.

Die Zunahme an Blutzellen führt ihrerseits **zu weiteren Änderungen am Blute,** die von dieser Zunahme abhängig sind. Hierher gehört die Steigerung der Dichte des Gesamtblutes, für die sich bei Zuntz, Loewy und Genossen (a. a. O. S. 192) Beweise finden, ferner die Erhöhung der Viskosität, über die Determann[4]), Stäubli und neuerdings Weber[5]) berichten, und die der Sauer-

---

[1]) O. Schauman u. E. Rosenqvist, Zschr. f. klin. Med. 35 (1898).

[2]) Bei Zuntz, Loewy, Müller, Caspari, a. a. O. S. 198 ff.

[3]) Sundstroem und Bloor, Journ. of biolog. chemistr. 45 S. 153 (1920).

[4]) Determann, Sammlung klin. Vorträge 308 (1901).

[5]) Weber, Zschr. f. Biolog. 70 S. 211 (1920).

stoffkapazität, die sich aus Masings und Morawitz' schon erwähnten Versuchen ergibt.

Endlich das Verhalten der Leukozyten. Sie sind verhältnismäßig selten gezählt und in ihrer Art bestimmt worden. So von Zuntz und v. Schrötter bei Luftballonfahrten in Höhen über 4000 m. Diese fanden keine charakteristischen Änderungen. In Arosa (1800 m) beobachtete Römisch nach einem Anstieg eine Verminderung der Leukozytenzahl. In St. Moritz hat Stäubli [1]) an einer größeren Zahl von gesunden Männern und Frauen nach einem Aufenthalt von 9 Tagen bis zu 4 Monaten Zahl und Art der Leukozyten festgestellt. Im Mittel seiner Zählungen fand er folgendes:

Tabelle 11.

	St. Moritz	Normal
Gesamtleukozytenzahl	6675	6000—8000
	%	%
Polynukleäre Neutrophile	52,6	70—75
Eosinophile	2,2	1—3
Lymphozyten	27,2	22—25
Große Mononukleäre	8,2 } 17,1	2—3
Übergangsformen	8,9 }	
Mastzellen	0,4	0.5

Genau die gleichen Zahlen fand Craandyk [2]) in Davos, nämlich 6660 Gesamtleukozyten bei Männern, 5930 bei Frauen; neutrophile 53 bzw. 55 %; Lymphozyten 37,7 bzw. 35 5 %; Monozyten 6.4 bzw. 6,5 %; eosinophile 2,4 bzw. 2.2 %; basophile 0,4 bzw. 0,5 %.

Während die Gesamtzahl der Leukozyten nicht deutlich beeinflußt wird, nimmt der prozentische Anteil der neutrophilen polynukleären ab, der der mononukleären zu. Ebenso fand Ruppanner [3]) bei gesunden Alpenbewohnern als charakteristisch eine starke absolute und prozentische Verminderung der neutrophilen Zellen (Neutropenie), neben absoluter und relativer Lymphozytose; zugleich geringe Mononukleose. Beim Übergang ins Hochgebirge fand sich eine Leukozytose, die in 2—3 Wochen abklang („Akklimatisationsleukozytose"), um dem vorstehend genannten, für Alpenbewohner normalen Leukozytenbilde Platz zu machen. — Die Gesamtzahl der Leukozyten war bei Ruppanner geringer, als sie im Tieflande gefunden wird.

Entsprechend diesen im Höhenklima gefundenen Verschiebungen im Leukozytenbilde stellte Gutstein [4]) an Hunden, bei denen er durch künstlichen Pneumothorax eine mangelhafte Sauerstoffversorgung hervorgerufen hatte, eine Abnahme der Gesamtleukozyten und der Neutrophilen, eine Zunahme der Lymphozyten und der Eosinophilen fest. Dasselbe fand er bei anämischen Personen, die täglich 1—1½ Stunden durch die Kuhnsche Saugmaske atmeten.

Danach würden also Höhenklima und Sauerstoffmangel ein typisches und ähnliches Leukozytenbild hervorrufen.

Als wichtigster Effekt der Höhenluft stellt sich die Zunahme an roten Blutzellen und Hämoglobin heraus. Sie bildet einen Ausgleichungsvorgang

---

[1]) Stäubli, Zschr. f. Balneol. III 1910—1911.

[2]) M. M. Craandyk, Fol. haematol. XXIII (1918). Hier weitere, ausführlich behandelte Literatur.

[3]) E. Ruppaner, Verh. d. Schweiz. naturforsch. Ges. 100. Jahresvers. II. Teil 147 (1920).

[4]) M. Gutstein: Fol. haematol. I. T. Bd. 26, 211. 1921.

gegenüber der abnehmenden Sauerstoffdichte der Höhenluft und befähigt den Körper in weiteren Grenzen als sonst dem Sauerstoffmangel zu widerstehen. Dabei tritt dieser Vorgang in Erscheinung schon in Höhen, d. h. also bei Luftverdünnungen, die noch nicht zu allgemeinem Sauerstoffmangel zu führen vermögen, wie schon betont worden ist. Die Höhenwirkung ist also gewissermaßen vorbeugend.

Zur Hinausschiebung des Sauerstoffmangels könnten noch andere Ausgleichsmöglichkeiten am Blute in Betracht kommen, z. B. solche, die sich in Änderungen der Sauerstoffbindung durch das Hämoglobin äußern würden, so daß also die Form der Dissoziationskurve des Sauerstoffhämoglobins eine andere würde. Diese Möglichkeit wäre nicht ausgeschlossen, wenn man die neuesten Ergebnisse von Krogh[1]) und von Jordan[2]) berücksichtigt. Aus ihnen ergibt sich, daß dem Sauerstoffdruck, unter dem verschiedene Tierklassen leben, die Festigkeit der Sauerstoffbindung am Hämoglobin angepaßt ist, derart, daß bei einem Leben unter niedrigem Sauerstoffdruck das Hämoglobin auch bei diesem noch genügend Sauerstoff zur Versorgung der Gewebe gebunden hält.

Hierhin zielende Untersuchungen haben während eines Aufenthaltes auf Teneriffa Douglas[3]) am Gesamtblute und Barcroft[4]) am Hämoglobin ausgeführt. Ergebnisse, die in diesem Sinne zu deuten wären, sind hier nicht gewonnen worden. Die Veränderungen der Sauerstoffbindungsfähigkeit des Hämoglobins verlaufen vielleicht zu langsam, um in einigen Wochen deutlich hervorzutreten. Dafür sprechen die Ergebnisse von Untersuchungen, die in jüngster Zeit von einer Reihe von englischen und amerikanischen Forschern in Hochperu in 4500 m an Eingeborenen ausgeführt wurden[5]). Bei diesen scheint sich eine Änderung der Bindungsverhältnisse des Sauerstoffes am Hämoglobin gefunden zu haben, und zwar in dem Sinne, daß bei gleichem Sauerstoffdruck mehr Sauerstoff durch das Hämoglobin gebunden wurde als im Tieflande. Das würde — ebenso wie die Hämoglobin- bzw. Zellvermehrung — eine weitere zweckmäßige Anpassung an die verdünnte Luft des Höhenklimas darstellen und die Sauerstoffversorgung der Gewebe verbessern.

Über weitere — sekundäre — Veränderungen der Blutbeschaffenheit beim Aufenthalt im Höhenklima wird S. 248 berichtet werden.

2. Kreislauf.

Um den reinen Einfluß der Höhenluft auf die Kreislauffaktoren festzustellen, ist es erforderlich den absolut ruhenden Körper zu untersuchen. Das ist darum schwieriger als im Tieflande, weil die Reize, die von seiten der Muskeltätigkeit auf den Kreislauf übergehen, im Hochlande intensiver einwirken und länger nachwirken als im Tieflande. Um vor solchen Nachwirkungen sicher zu sein, müssen die verschiedenen Kreislauffaktoren am besten frühmorgens vor dem Erheben aus dem Bette untersucht werden, und auch dabei kann ein voraufgegangener anstrengender Arbeitstag noch seinen Einfluß geltend machen.

Am häufigsten untersucht wurde, weil am einfachsten zu bestimmen, die **Pulsfrequenz.**

Übereinstimmend ergab sich, daß sie im Höhenklima ansteigt. Der Anstieg findet sich nicht nur, wenn man während der Zählung sich allen Klimafaktoren der

[1]) Krogh, Journ. of physiol. 52 S. 288 (1919).
[2]) Jordan, Pflüg. Arch. 185 S. 311 (1920).
[3]) Douglas, Journ. of physiol. Bd. 40 S. 472 (1910).
[4]) Barcroft, ibid. 42 (1911).
[5]) J. Barcroft, The physiol. of life in the Andes. Nature, Jahrg. 1922.

Höhe: der Bestrahlung, der Kälte, dem Winde aussetzt, sondern auch bei vollkommen behaglicher Bettruhe. Die Höhe, bei der er beginnt, ist von Person zu Person ganz verschieden. Zuntz, Loewy, Müller, Caspari konnten schon in Brienz — in 500 m Höhe — eine geringe Zunahme der Pulsfrequenz gegenüber Berlin an sich feststellen; bei anderen Personen tritt sie erst in 1000 oder 2000 m Höhe hervor, bei Durig und Genossen blieb die Frequenz bis zu 3000 m nahezu unverändert. Gewöhnlich nehmen mit zunehmender Höhe die Pulszahlen weiter zu. Manchmal kommt es, wie bei Zuntz, Loewy und Genossen vor dem weiteren Anstieg zunächst zu einem vorhergehenden Absinken.

An einem großen Materiale wurde diese Zunahme der Pulszahl in St. Moritz und Arosa — beide in 1800 m Höhe — von den dortigen Kurärzten (Jaccoud, Egger, Veraguth) festgestellt.

Nicht nur die Höhe, bei der die Pulsfrequenzsteigerung einsetzt, sondern auch der Umfang der Frequenzzunahme ist individuell sehr wechselnd. Dabei spielt die Gewöhnung an das Klima eine Rolle, insofern direkt aus dem Tieflande Kommende meist eine stärkere Steigerung zeigen als an die Klimareize der Höhe Gewöhnte. Aber auch bei diesen macht sich die Frequenzzunahme geltend. Das zeigen am besten die Zählungen Mossos[1]) an italienischen Bergsoldaten. Im Mittel hatten diese folgende Pulszahlen:

Tabelle 12.

Ort	Höhe m	Pulsfrequenzen pro Min.	
		Niedrigste	Höchste
Turin	276	48,8	58,4
Gressoney	1627	49,4	62,2
Lager Indra	2521	54,4	61,0
Lintyhütte	3048	54,6	65,0
Gnifettihütte	3700	62,7	69,0
Margheritahütte	4560	71,8	79,0

Mit dem Aufenthalt in der Höhe geht allmählich die Pulsfrequenz zurück und kann dem Tieflandwerte vollkommen wieder gleich werden. Der schnell erfolgende Rückgang geht z. B. aus den Werten der folgenden Tabelle 13 hervor, die auf einer Monte-Rosa-Expedition der Gebrüder Loewy mit Leo Zuntz[2]) gewonnen wurden.

Tabelle 13.

Pulsfrequenzen (früh nach dem Erwachen im Bett gemessen)

Ort und Datum	Höhe m	bei A. Loewy	bei J. Loewy	bei L. Zuntz	Bemerkungen
Berlin 6.—9. IX.	34	64	60	60	
Brunnen 27. VIII.		66	60		
Col d'Olen 10. VIII.	2900	78—84	72—78	88	Am Morgen nach dem Aufstieg
Gnifettihütte 17. VIII	3700	76—80	86—88	80—84	Am Morgen nach dem Aufstieg. — Nach 8tägigem Aufenthalt auf Col d'Olen
Gnifettihütte 19. VIII.	3700	74	58—60	80	
Gnifettihütte 20. VIII.	3700	68	—	68	

[1]) A. Mosso, Der Mensch auf den Hochalpen. Leipzig 1899.

[2]) A. Loewy, J. Loewy, Leo Zuntz, Pflüg. Arch. 66 S. 519 (1896).

Sobald Höhen erreicht werden, die zu ausgesprochenem Sauerstoffmangel führen können, schnellen die Pulsfrequenzen gewaltig empor. Das geht besonders deutlich aus den an Zuntz und Genossen auf der Monte-Rosa-Spitze gefundenen Werten hervor. Aber auch Durig und Genossen zeigten auf dieser Höhe das gleiche Verhalten. Für zwei von Durigs Gefährten, Rainer und Reichel, wird dies durch die folgenden Kurven veranschaulicht.

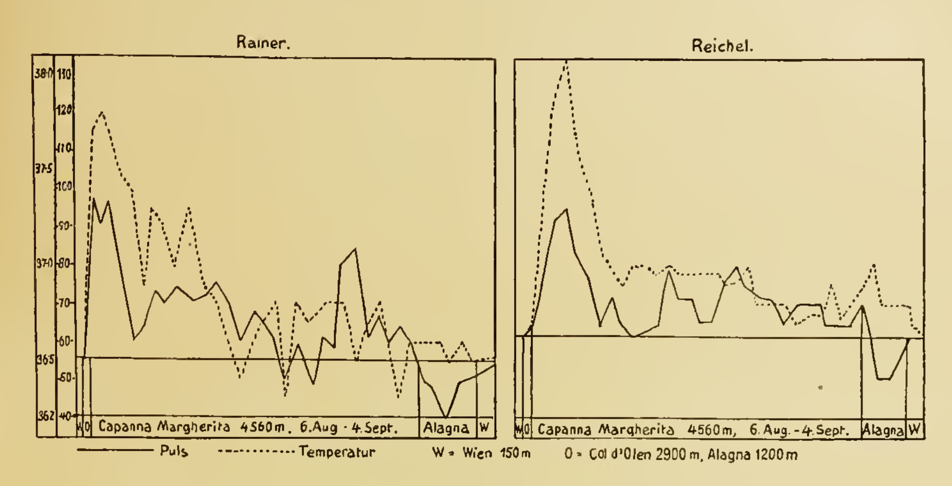


Abb. 1.
Pulsfrequenz und Körpertemperatur am Morgen.

Sie zeigen auch den allmählichen Abfall beim Verweilen auf der Höhe und eine Tatsache, die auch von Zuntz und Genossen schon gefunden war und später von Hasselbalch und Lindhard[1]) bestätigt wurde, nämlich das Absinken der Pulszahlen unter die Norm nach der Rückkehr in tiefere Orte. Dieses Unterschreiten der Norm findet sich auch für die Körpertemperatur, für die Atemfrequenz und für den Gesamtstoffwechsel, wie wenn nach der Gewöhnung an die Reize des Höhenklimas die im Tiefland wirkenden nicht mehr ausreichten, um die Körperfunktionen auf der früher normalen Höhe zu halten.

Der wirksame Faktor ist die Luftverdünnung. Versuche in der verdünnten Luft der pneumatischen Kammer führten bei v. Liebig[2]), Paul Bert und Mosso zu dem gleichen Erfolg. Jedoch kommt bei diesen Versuchen, die ja nur Stunden dauern, ein mechanisches Moment hinzu, bestehend in der Emporddrängung des Zwerchfells durch die sich ausdehnenden Darmgase und damit einer geänderten Lungenstellung. Dieses spielt beim Aufenthalt im Höhenklima höchstens in den ersten Tagen eine Rolle. Wird die Luftverdünnung in der Kammer so weit geführt, daß Sauerstoffmangel einsetzt, so schnellen auch hier die Pulswerte plötzlich in die Höhe. Durch Sauerstoffatmung konnte Mosso sie wiederum herabsetzen.

Erheblicher sind die Pulssteigerungen, wenn die Zählungen unter voller Einwirkung aller Klimafaktoren vorgenommen werden. Am besten erwiesen dies die Frequenzen bei den Versuchspersonen Kroneckers[3]), die dieser auf das Zermatter

[1]) Hasselbalch und Lindhardt, Skand. Arch. f. Physiol. 25 S. 361 (1911).
[2]) G. v. Liebig, Der Luftdruck usw. Braunschweig 1898.
[3]) Kronecker, Die Bergkrankheit. Berlin und Wien 1903.

Breithorn hinauftragen ließ (3750 m). Im Mittel waren die Pulsfrequenzen in Zermatt (1600 m) 83 gewesen, auf dem Breithorn 103.

Die Zunahme der Pulsfrequenz bei Körperruhe im Höhenklima scheint auf nervösem Wege zu erfolgen, wobei fraglich ist, ob eine Erregung des Sympathikus oder Herabsetzung des Vagustonus zustande kommt. Bei ausgeschnittenen Herzen bewirkt Speisung mit sauerstoffarmem Blute keine Pulsbeschleunigung.

Wichtiger und auch auffallender als die Pulssteigerungen bei Körperruhe sind die bei Muskeltätigkeit im Höhenklima. Sie treten deutlich schon in mittleren Höhen hervor, selbst bei mäßiger Arbeitsleistung, und können bei noch nicht übertriebenen Marschleistungen Werte erreichen, die über alle bei fieberhaften Krankheiten beobachteten weit hinausgehen.

So ging bei Veraguth[1]) die Pulsfrequenz beim Ersteigen einer Treppe von 50 Stufen in Zürich um 32,4 Schläge, in St. Moritz während der ersten 10 Tage um 47,3 Schläge empor. Bei einem Aufstieg von Bern auf den Gurten (300 m Höhenunterschied in 40 Minuten) stieg Kroneckers Puls auf 138. A. Loewy hatte bei Märschen auf den bayerisch-tiroler Kunststraßen — ohne daß Ermüdung, Atemnot oder Herzklopfen bestand — gewöhnlich Pulse von 160—176, gegenüber 100—120 bei gleicher Steigarbeit im Tieflande.

Kommt man in die Hochregionen, die zu Sauerstoffmangel, wenn auch nicht bei Ruhe, so doch bei Muskelarbeit, führen, so sind schon bei ganz geringer Muskeltätigkeit die Pulssteigerungen erheblich. So stiegen die Pulszahlen bei Kroneckers Versuchspersonen auf dem Zermatter Breithorn (3750 m) bei 20 Schritten auf dem schwach geneigten Schneefelde von 106 auf 144, während sie in Bern bei gleicher Tätigkeit gleich geblieben waren, oder von 106 auf 140 (in Bern von 100 auf 104).

Auf der Monte-Rosa-Spitze stieg bei Zuntz die Pulsfrequenz im Sitzen auf 92—108 gegen 80 im Liegen, bei Caspari war sie im Liegen 66, im Sitzen 96, im Stehen 109, bei Loewy 84 im Liegen, 110 im Sitzen.

Bemerkenswert ist die am gleichen Orte von Mosso[2]) gemachte Beobachtung, daß hier die Schlagfolge des Herzens unregelmäßig wird, so daß Perioden mit hohen Frequenzen abwechseln mit solchen geringer. Ähnliches hat auch Fuchs[3]) feststellen können.

Die abnorme Erregbarkeit des Pulses und auch die mitgeteilten absolut sehr hohen Werte geben keine schlechte Vorhersage. Wichtiger für diese ist die Zeit, innerhalb der der Puls wieder zu den normalen Ruhewerten nach Beendigung der Muskelarbeit zurückgeht. Beim Gesunden erfolgt sofort ein beträchtliches Sinken, das je nach der Schwere der vorangegangenen Arbeit in 15—30 Minuten zu den normalen Ruhewerten führen soll. Ein über Stunden sich hinziehendes Erhöhtbleiben der Pulsfrequenz ist kein günstiges Zeichen.

Das Sinken zur Norm erfolgt um so schneller, je arbeitskräftiger das Individuum ist[4]). Aber mit der Arbeitsgewöhnung geht auch ein viel geringeres Ansteigen während der Arbeit einher.

Für das Hochgebirge wird dies am besten durch die Erfahrungen der Zuntzschen Expedition erwiesen. Während der Märsche der ersten Tage betrug die Pulsfrequenz nach Märschen von Brienz auf das Brienzer Rothorn (2100 m hoch, Aufstieg ca. 1800 m in 4—5 Stunden) bei Caspari 150—175, später nur noch 120—130, bei dem gut

---

[1]) Veraguth, Le climat de la haute Engadine. Thèse de Paris 1887.
[2]) A. Mosso, Der Mensch auf den Hochalpen. Leipzig 1899.
[3]) Fuchs, Sitzungsber. d. physikal.-medizin. Societät in Erlangen Bd. 40 S. 204 (1908).
[4]) Stäbelin, Über den Einfluß d. Muskelarbeit auf die Herztätigkeit. Naumburg 1897.

trainierten Kolmer 130—140, später nur 90—100. Selbst nach dem Aufstieg zur Monte Rosa-Spitze war, trotzdem hier doch schon die Sauerstoffarmut der Luft beträchtlich war, die Pulsfrequenz nur 132 bei Zuntz und Loewy, 100 bei Caspari, 128 bei Kolmer.

Der bis zum Vielfachen sich steigernde Sauerstoffbedarf bei Muskelarbeit erfordert eine Beschleunigung des Blutumlaufes. Vermehrte Schlagfolge des Herzens kann einer solchen Beschleunigung dienen und muß, wenn sie sie hervorruft, als ein zweckmäßiger Vorgang aufgefaßt werden. Zweckmäßig wäre auch, daß für gleiche Muskelarbeit im Hochgebirge die Pulszahl mehr steigt als im Tieflande, denn das Blut gelangt hier nicht so reichlich mit Sauerstoff gesättigt aus den Lungen in das arterielle System und muß zur Ermöglichung einer genügenden Sauerstoffzufuhr schneller strömen.

Nun hängt aber die Blutzufuhr zu den Geweben nicht nur von der Frequenz der Herzkontraktionen, sondern auch von ihrem Umfange ab, also vom sog. Herzschlagvolumen (vgl. S. 225). Da mit fortschreitender Trainierung zwar auch der Sauerstoffbedarf für die Leistung gleicher Arbeit sinkt, aber bei weitem nicht in dem Maße wie die Pulsfrequenz, so muß, um auch bei niedriger Pulszahl den Sauerstoffbedarf zu decken, die durch jeden Herzschlag ausgeworfene Blutmenge zum Ausgleiche zunehmen, das Herzschlagvolumen als Folge des Trainings steigen.

Neben der Frequenz ist auch der **Form des Pulses** Beachtung geschenkt worden. Aber es hat sich gezeigt, daß sie, sofern der direkte Einfluß der Wärmefaktoren des Klimas — Wind, Kälte, Strahlung — ausgeschlossen war, und nicht Ermüdung vom Aufstieg oder Sauerstoffmangel mit im Spiele waren, keinerlei Änderung durch das Höhenklima erfährt. Daß die Verdünnung der Luft als solche unwirksam ist, hat zuerst v. Liebig (a. a. O.) in der pneumatischen Kammer dargetan. Für das Hochgebirge kamen Heller, Mager und v. Schrötter[1]) in 2200 m Höhe und Mosso in 4560 m zu gleichem Ergebnis, das von Durig und Genossen für diese letztere Höhe bestätigt worden ist. Bei Durig und Genossen blieben die Pulsbilder in 4560 m so übereinstimmend mit den im Tieflande, daß die Person, der sie zugehörten, ohne weiteres durch Vergleich mit ihrer Tieflandkurve zu erkennen war. — Bei dem Conway in den Himalaja begleitenden Schweizer Bergführer Zurbriggen blieb bis zu 7000 m Höhe der Puls dem im Tieflande fast gleich[2]).

Sehr häufig ist das Verhalten des **Blutdruckes** im Höhenklima untersucht worden. Daß die Luftverdünnung als solche den Blutdruck nicht zu ändern vermag, solange sie nicht zu Sauerstoffmangel führt, ist für Tiere und Menschen seit langem erwiesen. An Hunden stellten das Fränkel und Geppert[3]) fest, an Hammeln Lazarus und Schirmunski[4]). Diese fanden das gleiche bei Menschen, die sie einer Verdünnung bis 400 mm Barometerdruck aussetzten. Auch Loewy fand keine Blutdruckänderung an Hunden, die er einer Verdünnung entsprechend 5000 m Höhe aussetzte, und ebensowenig Mosso am Menschen bei Verdünnungen gleich 7000 m Höhe. In allen diesen Versuchen wurde nur der maximale Blutdruck ermittelt; aber Stähelin zeigte, daß auch der minimale Blutdruck (bis zu 420 mm Barometerdruck), damit also auch die Pulsamplitude nicht geändert wird.

---

[1]) Heller, Mager, v. Schrötter, Zschr. f. klin. Med. 33 u. 34.

[2]) Conway, Climbing and explorat. in the Karakorum Himalayas. London 1894.

[3]) Fränkel und Geppert, Über die Wirkungen d. verdünnten Luft auf den Organismus. Berlin 1883.

[4]) Lazarus und Schirmunski, Zschr. f. klin. Med. Bd. 7.

Jedoch kommen im Höhenklima neben dem Luftdruck noch andere Klimaelemente in Betracht, die auf den Kreislauf wirken können, und es war wohl möglich, daß deren Gesamtwirkung eine andere war, als die der Luftdruckverminderung für sich. Jedoch hat sich ergeben, daß, selbst bei beginnendem Sauerstoffmangel, das Höhenklima den Blutdruck nur wenig zu beeinflussen vermag.

Wiederholt ist dies für die Schweizer klimatischen Höhenorte festgestellt worden. So für St. Moritz von Veraguth, der an 10 Personen beim Übergang aus Zürich eine mäßige Senkung (Mittel: von 113 auf 102 mm), später aber ein Wiederansteigen fand (Baschs Sphygmomanometer). Beim Abgang von Basel nach Davos konnte Burckhardt (mit Gärtners Tonometer), allerdings bei Kranken mit sehr niedrigen Blutdruckwerten, eine Zunahme feststellen.

Bei längerem Aufenthalt im Höhenklima sah Veraguth ein Steigen des ursprünglich gesunkenen, Burckhardt ein Sinken des erhöhten Blutdruckes. Unter 10 Gesunden, die bei längerem Aufenthalt wiederholt von Stäubli in St. Moritz untersucht wurden, konnte nur in einem Falle ein allmähliches Steigen (von 115 auf 130 mm) beobachtet werden, während bei allen anderen nur geringe Schwankungen bestanden.

An gesunden kräftigen Menschen konnten weder Mosso (an Bergsoldaten) noch Durig mit Kolmer, Rainer und Reichel eine wesentliche Änderung feststellen, die auf die Höhe zu beziehen war, selbst beim Aufsuchen viel größerer Höhen. Bei des ersteren Versuchspersonen blieb der Blutdruck bis zu 4560 m Höhe konstant; bei letzteren trat bei gegen 3000 m und in 4560 m, abgesehen von einer wohl durch die Anstrengungen des Aufstieges veranlaßten vorübergehenden Senkung, eine ganz mäßige Steigerung ein, die während des vierwöchigen Aufenthaltes bestehen blieb. Die Mittelwerte letzterer Forscher sind folgende:

Tabelle 14.
Blutdruckwerte (Durig und Genossen).

Ort	Höhe	Blutdruck mm Hg
Wien	150	88
Col d'Olen	2900	94 Früh 97 Tägliches Mittel
Cap. Margherita	4560	81 Nach Eintreffen 96 Mittel von 16 Tagen
Alagna	1200	91

Die einzigen, die bei Gesunden wie bei Tuberkulösen allgemein eine Steigerung des Blutdruckes in Höhen von etwa 2000 m angeben, die bei längerem Aufenthalt noch wachsen soll, sind Peters und Bullock[1]). Bei Sonnenbädern im Hochgebirge sah Hediger[2]) unter entsprechender Änderung des Pulsbildes eine Blutdrucksteigerung bei ungewohnten Personen um mindestens 5 mm auftreten, im Gegensatz zu der Senkung, die Lenkei, Hasselbalch, Steven im Tieflande fanden.

Danach muß man den Blutdruck — sicher jedenfalls für alle praktisch-klimatisch in Frage kommenden Höhen — als nicht eindeutig beeinflußt bezeichnen. Das beweist, daß Regulationseinrichtungen in Tätigkeit treten, die diese für die Aufrechterhaltung des Kreislaufes wichtige Größe im wesentlichen konstant halten, so mannigfach auch die Blutverteilung und die Blutzusammensetzung durch die Klimafaktoren der Höhenluft geändert werden.

[1]) Peters und Bullock, Arch. of int. med. XII S. 456 (1913).
[2]) St. Hediger, Schweiz. med. W. 14, 1923.

In plethysmographischen Untersuchungen fand Mosso ebenfalls keine Änderungen auf der Monte Rosa-Spitze gegenüber Turin. Auch der Blutdruck in den Hautkapillaren war in 3450 m nicht undeutig geändert[1]).

Direkte Beobachtungen der **Kreislaufverhältnisse** im Höhenklima hat Liebesny[2]) vorgenommen. Er besichtigte an zahlreichen Personen den Kapillarkreislauf im Nagelfalz mit dem Zeißschen Hautmikroskop. Er gibt an, daß charakteristische Unterschiede gegenüber dem Tieflande bestehen. In letzterem sollen die Hautkapillaren gleichmäßig gefüllt sein, wodurch die Strömung nur schwer zu erkennen ist. Im Höhenklima war diese Gleichmäßigkeit der Kapillarfüllung gestört, es bestand eine „körnige Strömung" mit Verlangsamung, daneben bei einer Anzahl der Untersuchten Ansammlung der Erythrozyten in Klumpen, durch die die Kapillaren unregelmäßig zu „kapillaren Varizen" ausgebuchtet wurden. Für diese Differenzen dürften jedoch nicht Unterschiede in der Höhenlage, vielmehr solche der klimatischen Wärmefaktoren verantwortlich sein. Unter dem Einfluß der Kälte kommt es auch im Tieflande zu körniger Strömung und unter gleichen Temperaturbedingungen verhält sich, wie Finsterwald[3]) und Lüscher (a. a. O.) zeigten, der Kapillarkreislauf im Hochgebirge und im Tieflande gleich.

Wenn die Änderungen, die die Kreislauffaktoren — insbesondere die Pulsfrequenz — im Höhenklima aufweisen, als eine zweckmäßige Anpassung an dessen Eigentümlichkeiten aufgefaßt werden sollen, so müssen sie den Erfolg haben, die Blut- und damit die Sauerstoffversorgung der Gewebe zu verbessern. Das geschieht, wenn sie zu einer Erhöhung der Blutstromgeschwindigkeit führen.

Diese ist nun bisher im Höhenklima nicht genügend untersucht worden. Es liegen zwei Untersuchungsreihen über ihr Verhalten bei Luftverdünnung in der pneumatischen Kammer vor; eine ältere von Loewy[4]) und eine neuere von Doi[5]), beide an Tieren angestellt. Übereinstimmend finden beide Autoren, daß es nicht zu einer Beschleunigung des Blutstromes bei Körperruhe kommt. Die Luftverdünnungen waren beträchtlich; bei Loewy 470—450 mm Barometerdruck, bei Doi so weitgehend, daß Pulsfrequenzsteigerung schon deutlich war.

Das Ergebnis beweist indirekt, daß die im Höhenklima erhöhte Pulsfrequenz, die bei Körperruhe besteht, nicht als ein Kompensationsvorgang aufgefaßt werden kann, daß sie vielmehr mit einer Herabsetzung des Herzschlagvolumens einhergehen muß, derart, daß die normale Blutströmung aufrechterhalten wird.

Es ist heute möglich, direkt am Menschen das Herzschlagvolumen und den Blutumlauf und damit auch die Herzarbeit zu ermitteln. Derartige Bestimmungen, im Höhenklima ausgeführt, sind auch aus ärztlich-praktischen Gesichtspunkten wichtig. Mit der Kenntnis dieser Größen wäre man besser als bisher imstande die Anzeigen und Gegenanzeigen in der Benutzung des Höhenklimas bei Kranken mit Herzaffektionen aufzustellen. Kuhn[6]), ferner Douglas und Genossen[7]), sowie Schneider und Sisco[8]) suchten sie in Höhen zwischen 3200 und 4100 m zu ermitteln. Ihre Methodik war nicht vollkommen und ihre Ergebnisse lassen höchstens auf nur geringe Änderungen der Strömungsverhältnisse in der Höhe bei Körper-

[1]) E. Lüscher, Schweiz. med. W. 21 (1923).
[2]) P. Liebesny, W. m. W. 71 S. 2177 (1921).
[3]) H. Finsterwald, Beitr. z. Klinik d. Tuberkulose 54, 239 (1923).
[4]) A. Loewy, Die Respiration und Zirkulation in verdünnter usw. Luft. Berlin 1895.
[5]) Doi, Journ. of physiol. 55 S. 43 (1921).
[6]) H. Kuhn, Z. f. exp. Pathol. etc. 14 (1913).
[7]) Douglas, Haldane, Henderson, Schneider, Phil. transact. R. soc. 103 (1913)
[8]) Schneider und Sisco, Am. j. of. physiol. 34 (1914).

ruhe schließen. Dagegen läßt sich aus mannigfachen, zum Teil schon vorstehend mitgeteilten, zum Teil noch zu besprechenden Daten ableiten, daß die Blutströmung bei Muskeltätigkeit erheblicher sein muß als im Tieflande unter gleichen Bedingungen.

Einen Beweis dafür könnten die Untersuchungen von Strohl[1]) liefern, der das Gewicht der einzelnen Herzabschnitte beim Alpenschneehuhn (in 2000—3000 m Höhe lebend) mit dem beim Moorschneehuhn — das im Tieflande (in ca. 600 m Höhe) lebt und das ersterem in anatomischer und physiologischer Beziehung sehr nahe steht — verglich. Er fand nun, daß bei ersterem der linke Ventrikel an Masse wenig mehr entwickelt war als bei letzterem, daß aber das Gewicht des rechten Ventrikels beim Alpenschneehuhn das beim Moorschneehuhn beträchtlich überwog. Dasselbe Verhalten, eine stärkere Ausbildung des rechten Herzventrikels, soll sich auch bei Kälbern finden, die dauernd im Hochgebirge leben, im Gegensatz zu den das Tiefland bewohnenden[2]). Ob es durchgehend besteht, ist fraglich.

Dementsprechend soll auch das Elektrokardiogramm verändert sein. Die Deutung dieses Befundes, daß gerade der rechte Ventrikel besonders stark hypertrophiert, begegnet Schwierigkeiten. Strohl glaubt im Anschluß an Kronecker[3]) ihn durch Stauungsvorgänge im Lungenkreislauf erklären zu sollen. Jedoch wird noch erörtert werden, daß die Kroneckersche Anschauung nicht erwiesen ist.

Demgegenüber denkt Stäubli (a. a. O. S. 626) daran, daß infolge des verminderten Auftriebes in der dünnen Höhenluft der Arbeitsaufwand beim Fliegen gesteigert ist. Das würde eine Zunahme vorzüglich des linken Ventrikels bewirken müssen. Daß gerade der rechte stark hypertrophiert, möchte Stäubli damit in Zusammenhang bringen, daß das Venenblut mehr Kohlensäure im Höhenklima enthält als im Tieflande und demnach visköser ist und der Fortbewegung in die Lunge hinein mehr Widerstand entgegensetzt. Aber die Annahme Stäublis von dem höheren Kohlensäuregehalt des venösen Blutes im Höhenklima ist nicht festgestellt und sogar wenig wahrscheinlich, solange es nicht zu Herzermüdung gekommen ist. Oft ist, gerade bei starker Muskelarbeit, das Venenblut weniger venös als bei Körperruhe dadurch, daß der Blutstrom verhältnismäßig noch mehr gesteigert ist als der Stoffverbrauch.

Das Höhenklima soll nun nach einer schon früh geäußerten Anschauung einen eigentümlichen Einfluß auf die Blutverteilung im Gefäßsystem haben, nicht in der Art, wie sie sich unter der Wirkung seiner Wärmefaktoren — Bestrahlung, Wind, Kälte, Wärme — ausbildet (vgl. S. 212), sondern die Luftverdünnung als solche soll rein mechanisch sie gegenüber dem Tieflande verändern. Das meinte schon A. v. Haller[4]) und auch Saussure[5]): infolge des verminderten Druckes auf die Körperoberfläche sollte sich das Blut in den Hautgefäßen ansammeln, gewissermaßen in die aufgesaugt werden. Die Erscheinungen, die zu dieser Anschauung führten, waren starke Erweiterungen der Hautgefäße in größeren Höhen, nicht seltene Blutungen aus der Nase, in die Bindehaut der Augen, aus den Lippen, auch (besonders in den Anden beobachtet) aus den Lungen. Dazu war die Haut häufig zyanotisch.

Wie die Haut, so ist aber auch die Lungenoberfläche der verdünnten Luft direkt ausgesetzt und ihr Gewebe ist besonders nachgiebig. So sollte nach einer wohl zuerst von dem englischen Hochgebirgsreisenden Whymper ausgesprochenen,

---

[1]) Strohl, Zbl. f. Physiol. 24 S. 98 (1910).

[2]) Heger und Lempen, Congr. de physiol. 1920.

[3]) H. Kronecker, Die Bergkrankheit. Berlin u. Wien 1903.

[4]) v. Haller, Elemente physiolog. Deutsch von Sömmering. Berlin 1788.

[5]) Saussure, Voyages dans les Alpes. Genf 1786—1796.

dann von Heger[1]) und von Kronecker verfochtenen und besonders gestützten Annahme das Blut sich im Höhenklima auch in den Lungen ansammeln[2]). Experimentell dieses Verhalten zu erweisen, unternahmen an Kaninchen und Meerschweinchen Heger und Meyer[3]), und weiterhin Spehl und Desquin[4]). Nach den Ergebnissen letzterer soll bei Kaninchen Lungenblutmenge zu Lungengewicht sich verhalten in Brüssel wie 1:15,3, in 2900 m Höhe (Col d'Olen) wie 1:10,7. — Danach wäre also im Hochgebirge in der Tat die Lunge weit blutreicher.

Diese Befunde und die ganze ihnen zugrunde liegende Anschauung sind verständlich, sobald Haut oder Lungen einseitig einer Luftverdünnung ausgesetzt werden, aber nicht erklärlich, wenn der Körper allseitig in verdünnte Luft kommt. Dann muß sich schnell oder langsamer ein Druckausgleich im ganzen Körper herstellen. Aber man blieb nicht bei der Anschauung von einer geänderten Verteilung des Blutes im Gefäßsystem beim Höhenaufenthalt stehen, vielmehr schloß man — Kronecker aus dem Verhalten der Hautgefäße, besonders ihrer Erweiterung, und aus der Zyanose, Strohl aus der Blutüberfüllung der Lungen — auf eine Stauung des Blutes, speziell in den Lungen, wie sie bei manchen Herzklappenfehlern besteht und eine Hypertrophie des rechten Herzens im Gefolge hat.

Eine einseitige „Stauung" des Blutes in den Lungen kann aber nicht bestehen; die Stauung müßte dann den ganzen, auch den großen Kreislauf betreffen. Dafür liegt aber keinerlei Anhalt vor und die oben (S. 225) erwähnten Befunde, daß die Blutströmung im luftverdünnten Raume gegenüber der bei Atmosphärendruck beim Tiere ungeändert, beim Menschen nicht sicher geändert gefunden worden ist, sprechen direkt gegen sie.

Die genannten Erscheinungen an der Haut sind nicht kennzeichnend für eine Stauung. Gerade im Hochgebirge können sie durch andere Fak oren zustande kommen: die Blutungen durch die Sprödigkeit der Haut und der sichtbaren Schleimhäute infolge der Trockenheit der Luft und der starken Luftbewegung; die Erweiterung der Hautgefäße durch die intensive Bestrahlung; die Zyanose durch den geringen Sauerstoffgehalt des Blutes. Besonders ausgeprägt werden Gefäßerweiterung und Zyanose, wenn es zu Sauerstoffmangel kommt und bei Herzinsuffizienz infolge übergroßer körperlicher Anstrengung. Aber diese Zustände äußern sich im Gesamtbefinden, an der Atmung, am Pulse. Durch Herzermüdung kommt es zu wirklichen Stauungen, im Höhenklima leichter als im Tieflande, die jedoch mit der Höhe als solcher und mit rein mechanischen Wirkungen nichts zu tun haben.

Wenn so eine Blutstauung als direkte Folge des Höhenaufenthaltes abzulehnen ist, so müßte die Frage einer geänderten Blutverteilung noch weiter geprüft werden.

3. Die Atmung.

Wie Blut und Kreislauf erfährt auch die Atmung eine Anregung durch das Höhenklima, die allerdings nach der Höhenlage, bei der sie beginnt, ferner nach Umfang und Dauer von Person zu Person stark wechselt.

Am einfachsten zu beobachten und auch am meisten untersucht ist das Verhalten der Atemfrequenz. Schon in den klimatotherapeutisch wichtigen Höhenorten der Schweiz in 1100—1800 m Höhe wurde sie häufig erhöht gefunden, wobei

[1]) Heger und Spehl, Arch. de biol. II (1881).

[2]) Zusammenfassung der Arbeiten der Hegerschen Schule bei Langlois und Binet, Presse médic. 29 S. 166 (1921).

[3]) Heger und Meyer, Libr. jubil. de Ch. Richet 1912 S. 171.

[4]) Spehl und Desquin, Arch. de biol. 51 S. 1.

die Zunahme im Mittel etwa 3 Atemzüge in der Minute ausmachte. Zuweilen war eine Steigerung nicht festzustellen; wo sie aber bestand, wurde sie in einigen Tagen bis Wochen wieder rückgängig[1]). Einige Beobachter fanden eine Abnahme um 1 bis 3 Atemzüge.

Diese individuellen Unterschiede bleiben auch für größere Höhen bestehen. Besonders auffällig treten sie an den Personen der Zuntzschen Expedition hervor, deren einige eine Zunahme, andere Konstanz oder sogar Abnahme der Atemfrequenz bis in Höhe von 4560 m aufweisen.

Tabelle 15.

Atemfrequenz und Tiefe.

Ort	Waldenburg		Kolmer		Caspari		Müller		Loewy		Zuntz	
	Frequenz pro Min.	Tiefe ccm	Frequenz pro Min.	Tiefe ccm	Frequenz pro Min.	Tiefe ccm	Frequenz pro Min.	Tiefe ccm	Frequenz pro Min.	Tiefe ccm	Frequenz pro Min.	Tiefe ccm
Berlin	10,0	566	17,2	382	14,5	401	13,0	447	11,5	438	—	—
Brienz	7,5	644	14,7	432	13,2	363	9,9	502	11,6	394	7,3	648
Rothorn	7,6	690	16,0	412	15,5	365	13,0	420	13,6	246	7,0	782
Col d'Olen	8,2	723	—	—	—	—	9,7	585	—	—	—	—
Monte-Rosa-Spitze	6,0	885	18,0	462	12.1	699	8,2	1079	15,7	399	6,0	1495

Ähnliche Unterschiede fand Mosso an seinen Bergsoldaten beim Aufstieg von Turin zur Monte-Rosa-Spitze. Alter, Training, Gewöhnung an die Höhe spielen keine erkennbare Rolle für die verschiedene Beeinflussung der Atmung, so daß für die mittleren Höhen an verschiedene reflektorische Erregbarkeit des Atemzentrums gedacht werden muß. Für Höhen, wie die Monte-Rosa-Spitze, in denen das Blut bereits an Sauerstoff verarmt ist, können daneben individuell wechselnde automatische Erregungen des Zentrums in Frage kommen, die mit dem verschiedenen Kohlensäuregehalt des Blutes bzw. verschiedener H-Ionenkonzentration desselben in Beziehung stehen.

Genauer verfolgt wurde der Einfluß, den verschiedene Elemente des Höhenklimas auf die Atemfrequenz haben, von Hasselbalch und Lindhard[2]). Sie stellten diese einerseits bei intensiver Sonnenbestrahlung, andererseits ohne diese in 3290 m Höhe (Brandenburger Haus, Ötztal) fest. Die Höhe an sich führte bei ihnen zu einer Steigerung (5,7:7 bzw. 7,3:9), die Bestrahlung aber zu einer deutlichen Abnahme, so daß die Frequenz unter die Ausgangsfrequenz im Tieflande hinunterging. Sie blieb auch zunächst nach Rückkehr ins Tiefland ebenso niedrig, weil — nach Hasselbalch und Lindhard — die Strahlenwirkung auf die Haut noch fortbestand. Andere Autoren (Zuntz, Durig, v. Schrötter) konnten, wie schon im Kapitel „Allgemeine Klimatophysiologie“ (S. 42) hervorgehoben wurde, diese typische Lichtwirkung nicht finden.

Auch wo die Atemfrequenz zuerst gesteigert war, nimmt sie, wie schon erwähnt, allmählich wieder ab bis zur Norm. Bei dauernd das Hochland Bewohnenden soll die Atmung langsamer, und dabei tiefer, sein als bei den Tieflandbewohnern[3]).

[1]) Literaturangaben bei Stäubli, Zschr. f. Balneol. III S. 621 (1910/1911) und bei Zuntz, Loewy und Genossen a. a. O. S. 310 ff.

[2]) Hasselbalch und Lindhard, Skand. Arch. f. Physiol. 25 S. 361 (1911).

[3]) Jourdanet, Influence de la pression de l'air II, und Mermod, Infl. de la dépression atmosph. etc. Inaug.-Diss. Straßburg. Lausanne 1877.

Die Atemtiefe war meist so, daß das Produkt von Tiefe und Frequenz, das Atemvolumen pro Minute, die sog. Atemgröße, konstant blieb oder überwiegend gesteigert war.

Einen Überblick darüber gibt folgende, von Durig[1]) aufgestellte Tabelle:

Tabelle 16.

Höhe m	Anzahl der untersuchten Personen	Das Atemvolumen nimmt zu bei Personen	nimmt ab bei Personen	bleibt gleich bei Personen
unter 600	7	—	3	4
„ 1000	2	1	1	—
bis 1500	11	8	2	1
„ 2000	1	1	—	—
„ 2500	10	4	4	2
„ 3000	13	8	3	2
„ 4000	16	11	2	3
„ 5000	29	24	3	2

Danach beginnt die Atemvolumenzunahme schon bei 1000—1500 m Höhe, um von 2500 m ab bei der Mehrzahl aufzutreten.

Auch da, wo die Atemgröße gesteigert ist, wechselt das Maß der Steigerung sehr erheblich. So fanden Zuntz und Schumburg[2]) in Zermatt (1600 m) eine Steigerung gegenüber Berlin von 4,49 auf 5,45 l (Z.) bzw. 5,56 auf 6,63 l (Sch.). In St. Moritz (1800 m) stellte Veraguth in den ersten Aufenthaltstagen eine Zunahme von 5,26 auf 6,88 l fest.

Umfang und individuelle Verschiedenheiten lassen sich aus folgender Tabelle erkennen, die die an der Zuntzschen Expedition beteiligten Personen betrifft.

Tabelle 17.
Atemvolumina bei Körperruhe pro Minute.

Ort, Höhe	Waldenburg Atemgröße ccm		Kolmer Atemgröße ccm		Caspari Atemgröße ccm		Müller Atemgröße ccm		Loewy Atemgröße ccm		Zuntz Atemgröße ccm	
	nicht reduziert	reduziert	nicht reduziert	reduziert	nicht reduziert	reduziert	nicht reduziert	reduziert	nicht reduziert	reduziert	nicht reduziert	reduziert
Berlin 34 m	*5662,5*	5148,0	*6570,7*	6008,9	*5812,5*	5182,5	*5862,0*	5266,0	*5041,3*	4466,9	*4877,0*	4460,0
Brienz 500 m	*4847,8*	4035,9	*6352,9*	6038,3	*4808,4*	4132,3	*4970,4*	4275,6	*4573,3*	3945,1	*4427,5*	4117,5
Brienzer Rothorn 2150 m	*5243,6*	3766,3	*6584,9*	4714,9	*5659,5*	4075,9	*5465,5*	3916,2	*5256,0*	3761,2	*5473,3*	3926,1
Col d'Olen 2900 m	*5961,2*	3922,4	—	—	—	—	*5675,3*	3715,3	—	—	—	—
Monte Rosa 4560 m	*5308,3*	2846,8	*8323,2*	4462,6	*8466,5*	4563,5	*8919,9*	4875,0	*6269,8*	3386,7	*8431,2*	4608,6

[1]) A. Durig, W. kl. W. 1911.
[2]) Zuntz und Schumburg, Pflüg. Arch. 63 (1896).

Die Ursachen der Steigerung sind je nach der Höhenlage verschieden. In Monte-Rosa-Höhe spielt schon der Sauerstoffmangel mit, der als Atemreiz wirkt. In den mittleren Höhen kommt dieser nicht in Betracht. Hier kann es sich überhaupt nicht um eine automatische Erregung des Zentrums handeln. Für diese käme allein der Kohlensäurereiz in Frage. Aber die Kohlensäurespannung ist beim Aufenthalt in Höhenluft gerade da, wo Atmungssteigerungen vorliegen, vermindert, und sie bleibt annähernd gleich, wo die Atmungssteigerungen gering sind oder fehlen.

So betrug sie bei Waldenburg (vgl. Tabelle 17) in Berlin 33,1 mm, in 2900 m Höhe 35,1 mm, in 4560 m 34,8 mm, bei Loewy in Berlin 41,8 m, in 2150 m 38,8 mm.

Aber das sind Ausnahmen für Personen, die nicht an das Höhenklima gewöhnt sind, während dieses Verhalten häufiger zu sein scheint bei solchen, die sich lange im Hochgebirge aufhalten. Für erstere ist gewöhnlich der Gang der Kohlensäurespannung in den Lungenalveolen, als Maß für die im arteriellen Blute, so, wie es die folgende, den Untersuchungen Durigs entnommene Tabelle zeigt.

Tabelle 18.
Alveolare Kohlensäurespannungen bei Körperruhe.

Ort	Höhe	CO_2 — Spannung in mm Hg	
		bei Durig	bei Reichel
Wien	150	32,0	35,1
Semmering	1000	29,0	34,1
Alagna	1200	28,9	33,9
Sporner Alpe	1326	27,0	—
Monte Rosa:			
Beginn	4560	19,6	20,8
Ende	4560	20,6	21,5

Gleiche Verhältnisse fanden auch Ward und Haldane, Douglas, Henderson, Schneider[1]).

Fitzgerald[2]) bestimmte die alveolaren Kohlensäurespannungen bei dauernd verschiedene Höhen bewohnenden, also an sie akklimatisierten Personen. Danach sollen sie mit sinkendem Barometerdruck gesetzmäßig abnehmen derart, daß der CO_2-Druck in den Lungen für je 100 mm Barometerdruck um 4,2 mm sich erniedrigt, wobei dieser Wert erst allmählich (in 3—14 Tagen) erreicht wird. Er würde also den „akklimatisierten" Wert der alveolaren CO_2-Spannung im Höhenklima darstellen. Ähnliche Werte fanden Hasselbalch und Lindhard, sowie Liljestrand und Magnus[3]).

Es müssen also in dem Klima der mittleren Höhen besondere Reize vorhanden sein, die erregend auf die Atmung wirken, wobei es sich nur um reflektorisch wirkende Erregungen handeln kann, die von der Haut und den Sinnesorganen aus das Zentrum beeinflussen. Diese sind in der Strahlung — auf die, wie erwähnt, Hasselbalch und Lindhard besonderes Gewicht legen —, in der niedrigen Temperatur, der starken Luftbewegung zu suchen. Daß die Verdünnung als solche nicht dafür maßgebend ist, solange sie nicht zu Sauerstoffmangel führt, haben Untersuchungen

[1]) R. O. Ward, Journ. of physiol. 37 S. 378 (1909); Haldane und Mitarbeiter, Phil. transact. roy. soc. 203 (1912).

[2]) M. Fitzgerald, Journ. of physiol. 37 S. 251 (1919).

[3]) Näheres bei A. Loewy, Die Gase des Körpers, in Oppenh. Handb. d. Bioch. 2. Aufl. Bd. VI S. 109 (1923).

im pneumatischen Kabinett gezeigt[1]), denn hier blieb das Atemvolumen annähernd konstant bis zu Verdünnungen, die zu deutlichen Erscheinungen des Sauerstoffmangels führten.

Da, wo die Steigerungen des Atemvolumens in mittleren Höhen schon auftreten, kann man sie nicht gut vom teleologischen Gesichtspunkte aus auffassen. Sie führen zwar zu einer Steigerung der Sauerstoffspannung in den Lungen, die an sich mit zunehmender Höhe natürlich mehr und mehr sinken muß. Denn der Sauerstoffverbrauch, also die Sauerstoffentnahme aus den Lungen, bleibt, wie sich aus dem folgenden Abschnitt ergeben wird, gleich oder steigt sogar, aber die Sauerstoffmenge in ihnen nimmt mit der Höhe fortschreitend ab. Jedoch ist in mittleren Höhen, wie sich aus der Dissoziationskurve des Oxyhämoglobins ergibt, das Blut trotzdem noch so weit mit Sauerstoff gesättigt, daß das Atemzentrum noch keinen Mangel an Sauerstoff leidet.

Dagegen wird die Atmungssteigerung ein zweckmäßiger Vorgang in denjenigen Höhenlagen, in denen die Sauerstoffversorgung mangelhaft wird. Das ist bereits im Kapitel „Allgemeine Klimatophysiologie" (S. 67) im einzelnen erörtert worden, wo auch zahlenmäßig gezeigt wurde, in wie weitem Maße der verminderte Sauerstoffgehalt der Atmosphäre durch ausgiebige Atmung ausgeglichen werden kann.

Unter den natürlichen Verhältnissen des Höhenaufenthaltes ist die Atemsteigerung selten so hoch gefunden worden, daß die Sauerstoffzufuhr gleich war oder sogar höher als im Tieflande. Das ergibt sich, wenn man die Atemvolumina im Hoch- wie im Tieflande im sog. Normalzustande, d. h. reduziert auf 760 mm, 0° und Trockenheit miteinander vergleicht. Die reduzierten Atemvolumina lagen selten im Hochgebirge über den im Tieflande gefundenen. So betrug die Atemgröße pro Minute bei einem der Bergsoldaten Mossos auf dem Monte Rosa 4,50 gegen 3,83 l in Turin, ebenso bei Loewy auf dessen erster Expedition 3,5 l in Berlin, 3,71 l in 3700 m und bei Leo Zuntz 4,36 l in Berlin, 4,57 l in 3700 m, 5,70 l in 4560 m.

Meist jedoch bleiben die reduzierten Volumina in der Höhe hinter den im Tieflande zurück, wie es die in Tabelle 17 zusammengestellten Werte von der Zuntzschen Expedition und ebenso die von den Durigschen beweisen.

Ebenso wie in Körperruhe ist auch bei Körperarbeit meist das Atemvolumen derart gesteigert, daß die gleiche Arbeit in der Höhe mit stärkerer Lungenventilation als im Tieflande vor sich geht. Nur die an den Durigschen Expeditionen beteiligten Personen lassen die Zunahme nicht erkennen. Auch hier wird bei längerem Aufenthalt die Steigerung immer geringer; ja bei Rückkehr von größeren in geringere Höhen kann sie ebenso niedrig liegen wie ursprünglich im Tieflande.

Die Steigerung der Lungenventilation bei Arbeitsleistung im Höhenklima kann so beträchtlich werden, daß die Sauerstoffspannungen höher bei Körperarbeit bleiben als bei Körperruhe, trotz des um das Vielfache erhöhten Sauerstoffverbrauches. Ein Bild der beträchtlichen Atmungsanregung, die die Höhe bei Muskelarbeit zustande bringen kann, dürften folgende Zahlen geben (siehe Tabelle 19 auf S. 232).

Von dem Umfange der Lungenventilation abhängig ist die Einstellung der Sauerstoffspannungen in den Lungenalveolen.

Sie sind ihrerseits maßgebend für die Möglichkeit der Sauerstoffversorgung der Gewebe. Die folgende Tabelle 20 kann über den Verlauf der Sauerstoffspannungen

---

[1]) Literatur bei Loewy, Die Respiration und Zirkulation usw. Berlin 1895, und Zuntz und Genossen, Höhenklima. Berlin 1906. Kap. XI.

Tabelle 19.
Atemvolumen für das Meterkilogramm Steigarbeit.

Ort	Höhe	Für jedes Meterkilogramm Steigarbeit sind erforderlich Kubikzentimeter Atemluft bei					
		Waldenburg	Kolmer	Caspari	Müller	Loewy	Zuntz
Berlin	34	26	19	19	25	15	20
Brienz I	500	27	28	27	34	33	22
Brienz III	500	—	22	—	25	35	—
Brienzer Rothorn	2150	29	28	34	38	43	48
Col d'Olen	2900	41	—	—	36	—	—
Monte Rosa	4560	—	89	95	—	—	80

bei sinkendem Barometerdruck orientieren. Sie gibt die Maximal- und Minimalwerte, die von Zuntz und Genossen gefunden wurden.

Tabelle 20.

Ort und Höhe	Sauerstoffspannung in mm Hg	
	bei Ruhe	bei Arbeit
Berlin 34 m bzw. Wien 150 m	101—109	100—108
Brienz 500 m	81—94	90—100
Brienzer Rothorn 2150 m	62—72	74—81
Col d'Olen 2900 m	57—69	64—71
Gnifettihütte 3700 m	54—56	57—64
Monte-Rosa-Spitze 4560 m	38—61	55—63

So ergibt sich, daß das Höhenklima teils schon in mittleren, teils erst in bedeutenden Höhen zu einer Steigerung der Tätigkeit der Atmungsmuskulatur und zu einem erhöhten Luftwechsel der Lungen zu führen vermag.

Auch der nervöse Regulationsmechanismus der Atmung, das Atemzentrum, kann durch das Höhenklima beeinflußt werden in dem Sinne, daß die Erregbarkeit des Atemzentrums sich ändert.

Nach der Anschauung einzelner Forscher soll sie in mittleren Höhen gesteigert sein. — Das schließen Hasselbalch und Lindhard (a. a. O.) aus ihren Untersuchungen auf dem Brandenburger Hause (3290 m). Hier, ja schon in Innsbruck, fanden sie, daß gegenüber dem Tieflande (Kopenhagen) Kohlensäureeinatmung bei ihnen eine stärkere Wirkung auf die Atmung ausübte als im Tieflande, die besonders in den ersten Tagen außerordentlich war und unter unmittelbarer Bestrahlung mit der Hochgebirgssonne die höchsten Werte erreichte. Allmählich klang sie ab, um bei Rückkehr ins Tiefland für längere Zeit unter die normalen Werte zu sinken.

Ebenso fand Rohrer[1]) in 2456 m (Muottas Muraigl) am Menschen und Tiere (Kaninchen) gleichfalls mit der Methode der Kohlensäureeinatmung, daß auf den gleichen alveolaren Kohlensäurereiz die Lungenventilation stärker zunahm als im Tieflande, und daß diese stärkere Reaktion während der Beobachtungszeit von 14 Tagen erhalten blieb. Bei den Kaninchen war sie in den ersten Tagen des Höhenaufenthaltes am ausgeprägtesten, bei der einen der beiden Versuchspersonen in den letzten Tagen.

Es scheint noch zweifelhaft, ob es sich hier um Änderungen der Erregbarkeit des Zentrums handelt oder nicht vielmehr um den Effekt einer Summation von

[1]) Fr. Rohrer, Annalen d. Schweizer Ges. f. Balneol. usw. XVII (1922).

Reizen, indem zu dem Reiz der eingeatmeten Kohlensäure die neuen und ungewohnten Klimareize der Höhenluft hinzutreten, um die Wirkung der ersteren zu verstärken.

In Arbeitsversuchen auf einem Zweiradergometer, die in einer pneumatischen Kammer ausgeführt wurden, fand Barcroft[1]), daß die Zunahme der Atemgröße bei Atmosphärendruck und bei Luftverdünnung annähernd die gleiche war, wenn der Säuregrad (H-Ionenkonzentration) des Blutes sich in gleicher Weise geändert hatte. Dazu wurden bei Atmosphärendruck 4600 engl. Fußpfunde, bei vermindertem nur 2700 geleistet. Das spricht nicht für eine Steigerung der Erregbarkeit des Atemzentrums bei Luftverdünnung.

Dagegen kann als erwiesen angesehen werden, daß eine Herabsetzung der Erregbarkeit des Atemzentrums in über 4000 m Höhe (Monte-Rosa-Spitze, 4560 m) eintreten kann. Mosso (a. a. O.) zeigte, daß hier bei einigen seiner Versuchspersonen der Kohlensäurereiz weniger auf die Atmung wirkte als im Tieflande und daß — trotz des in der Höhe früher eintretenden Sauerstoffmangels — einzelne Personen

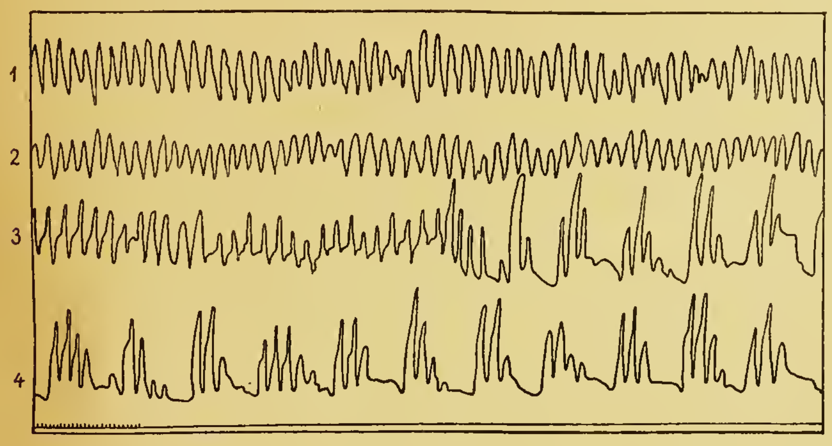


Abb. 2.
Allmählicher Übergang der Atmung in die Cheyne-Stokessche Form (nach Mosso).

die Atmung willkürlich längere Zeit unterbrechen konnten als im Tieflande. So vermochte der eine Begleiter Mossos in 4560 m Höhe den Atem 12—14 Sekunden, in Turin nur 8 Sekunden anzuhalten. Das läßt sich nur durch verminderte Erregbarkeit des Atemzentrums erklären.

Auf diese weist auch eine Erscheinung hin, die Hasselbalch und Lindhard in 3290 m, Mosso schon von 3000 m ab, Zuntz und Genossen in 4560 m beobachteten, nämlich ein Wechsel in der Tiefe der aufeinanderfolgenden Atemzüge, der bis zur Ausbildung des Cheyne-Stokesschen Atmungsphänomens gehen kann. Sie ist im Hochgebirge durch den Sauerstoffmangel bedingt; denn kurze Sauerstoffzufuhr kann die Atmung bessern, wenn auch nicht immer den Cheyne-Stokesschen Typus zum Verschwinden bringen.

Als Beispiele für den starken Wechsel der Atemtiefe sei auf die Abbildung verwiesen, die Zuntz und Genossen auf S. 332 bringen. Aus ihr geht hervor, daß die Atemtiefe bei Loewy zwischen 200 und 600 ccm, bei Caspari zwischen 300 und 1600 ccm schwankte.

---

[1]) J. Barcroft, The Lancet 1281 (1921).

Die allmähliche Ausbildung der Cheyne-Stokesschen Atmung im Hochgebirge wird durch die vorstehenden, von Mosso veröffentlichten Kurven dargestellt.

Mit der Dauer des Aufenthaltes im Höhenklima klingen allmählich die anregenden Wirkungen auf die Atmung wieder ab. Aber die körperlichen Ansprüche, die der Aufenthalt im Hochgebirge mit sich bringt, der Zwang zu anstrengender Muskeltätigkeit, die mit der Fortbewegung auf dem an- und absteigenden Boden gegeben ist und die bei vielen während einer mehr oder minder langen Zeit des Höhenaufenthaltes mit einer gegenüber dem Tieflande verstärkten Atemtätigkeit einhergeht, führt zu einer besseren Ausbildung der Atmungsmuskulatur, zu stärkeren Bewegungen der Lungen, die ihrerseits eine bessere Durchblutung dieser hervorruft. Damit ist wohl eine größere Widerstandsfähigkeit gegen Erkrankungen der Lungen und eine erhöhte Möglichkeit der Ausheilung solcher gegeben. Wenigstens dürften diese Vorgänge einen der Faktoren darstellen, die das Hochgebirge zu einem Heilmittel bei manchen Lungenerkrankungen machen.

Die verstärkte Inanspruchnahme der Atemmuskeln führt zu ihrer Kräftigung. Sie äußert sich darin, daß die Maximalleistung eines Atemzuges, die sog. Vitalkapazität, allmählich ansteigt, so daß sie schon nach kürzerem Aufenthalt die im Tieflande gefundene übertreffen kann. Besonders ausgeprägt ist die Überlegenheit bei Personen, die häufig das Hochgebirge aufsuchen, wie es Mosso bei Bergführern und bei Soldaten der Bergtruppen feststellte. Dementsprechend hat Izquierdo[1]) an Mexikanern (2240 m) mit Pechs manometrischer Maske maximale Atemvolumina gefunden, die die von Tiefländern übertreffen.

Mit gesteigerter Tätigkeit der Atemmuskeln steht auch die Tatsache im Zusammenhange, daß bei längerem Höhenaufenthalt die Form des Brustkastens sich ändert; er erweitert sich, so daß nach Weber[2]) nach 3- bis 12monatigem Aufenthalt in der Höhe sein Umfang um 1—2½ cm zunehmen kann.

Ältere Untersuchungen an Eingeborenen des mexikanischen Hochlandes[3]) sowie neuere an solchen von Hochperu[4]) ergeben gleichfalls einen auffallend weiten Thorax, und das Verhältnis zwischen Rumpflänge und Thoraxumfang war bei letzteren gegenüber den Tieflandbewohnern derart geändert, daß auf gleiche Rumpflänge ein weit größerer Umfang des Thorax kam. Das bedeutet, daß die Lungen voluminöser waren und somit einen größeren Luft- und Sauerstoffvorrat führten. Durch letzteres muß aber der Sauerstoffdruck in den Lungen bei dem mit der Arterialisierung des venösen Lungenarterienblutes einhergehenden Sauerstoffverbrauch hoher gehalten werden, als bei geringerem Sauerstoffvorrate in ihnen, und das führt zu einer vermehrten Sauerstoffaufnahme ins Blut und erhöhten Sauerstoffzufuhr zu den Geweben. Die Thorax- und Lungenerweiterung stellen also eine zweckmäßige Anpassung dar.

Bei den peruanischen Höhenbewohnern wurde zugleich durch Röntgenaufnahmen festgestellt, daß die Rippen in einem anderen Winkel von den Wirbelkörpern abgingen, als bei Tiefländern: sie verliefen weniger geneigt, mehr horizontal, so daß der Thorax die Form des emphysematösen Thorax annahm. Die Bedeutung dieser Änderung ist unklar.

4. Der Stoffwechsel.

a) Der Gesamtstoffwechsel bei Körperruhe.

Über den Gesamtstoffwechsel, gemessen am Gesamtsauerstoffverbrauch und der Gesamtkohlensäureausscheidung, sind wir durch sehr zahlreiche Untersuchungen unterrichtet. Die meisten sind in den Alpen durchgeführt, einzelne auf Teneriffa, neuere in den nordamerikanischen Gebirgen.

---

[1]) Izquierdo, Compt. rend. biol. 87 (1922).

[2]) H. Weber, Klimatotherapie in Ziemssens Handb. d. allgemeinen Therapie. Leipzig.

[3]) Jourdanet, Influence de la pression de l'air etc. Paris 1876.

[4]) J. Barcroft, Life in the Andes., Nature, July 1922.

Aus allen geht hervor, daß das Höhenklima den Gaswechsel im Ruhe-Nüchternzustande, also den Erhaltungsumsatz, zu steigern vermag.

Allerdings spielt auch hier die Individualität und die Gewöhnung eine beträchtliche Rolle. Einzelne Untersucher stellten bereits in Innsbruck — 500 m Höhe — (gegenüber Kopenhagen) eine Steigerung fest (Hasselbalch und Lindhard), andere in 1000 m (Semmering; Durig und Genossen) und in 1100 m (Mermod). In 1600 m (Chasseral, Jura) war bei Jaquet und Stähelin der Gaswechsel deutlich erhöht, nicht aber bei Zuntz und Schumburg. In 2100 m war er bei Bürgi gesteigert (Brienzer Rothorn), nicht aber bei Zuntz auf Teneriffa. Auf dem Brienzer Rothorn war er bei den Teilnehmern der Zuntzschen Expedition nicht erhöht. Selbst in 2900 m blieb er bei A. Loewy und J. Loewy konstant, war aber bei L. Zuntz nicht unerheblich erhöht (um 26%). In 3100 m war er auf Teneriffa bei Durig gesteigert, bei Zuntz nicht. Noch in 3700 m betrug bei A. Loewy die Steigerung nur 6,3%. Erst in 4560 m (Monte Rosa) war er bei allen untersuchten Tiefländern mit einer Ausnahme erheblich gesteigert. Dagegen zeigten die höhengewohnten Bergsoldaten Mossos selbst bei dieser Höhe noch keine deutliche Gaswechselsteigerung.

Auch der Umfang der Steigerung schwankt erheblich. In welchem Maße das der Fall ist, sei für 4560 m Höhe durch folgende Tabelle erläutert:

Tabelle 21.
Zunahme des Energieverbrauches in Prozenten in 4560 m Höhe im Ruhe-Nüchternzustande.

Zuntz	+ 42,8%	Zuntzsche Expedition.
Loewy	+ 29,1%	
Caspari	+ 43,7%	
Kolmer	+ 17,3%	
Müller	± 0,0%	
Durig	+ 30,0%	Durigsche Expedition.
Kolmer	+ 12,2%	
Reichel	+ 22,3%	

Mit der Dauer des Aufenthaltes nimmt der Umsatz wieder ab und kann in mittleren Höhen bald die Werte des Tieflandes erreichen. In Monte-Rosa-Höhe kann zwar auch ein Abfall eintreten, aber in Durigs Expedition war eine Änderung selbst nach vierwöchigem Aufenthalt noch nicht deutlich geworden.

Die Ursache für diese Anregung des Stoffwechsels muß je nach der Höhe verschieden sein. In mittleren Höhen, wo mit Sauerstoffmangel bei Körperruhe nicht gerechnet werden kann, müssen andere im Höhenklima wirksame Faktoren als ursächliche Momente wirken. Welche es aber im einzelnen sind, ist nicht sicher zu sagen; ja man kann behaupten, daß jedes einzelne Höhenklimaelement für sich nicht imstande ist, die in der Höhe beobachteten Steigerungen hervorzurufen.

Hasselbalch und Lindhard[1]) wollen dem Licht den wesentlichsten Anteil an der stoffwechselsteigernden Wirkung beimessen (Versuche in 3290 m Höhe). Dagegen sahen Durig und Zuntz in 4560 m Höhe nur geringe, Durig, v. Schrötter und Zuntz in 3000 m auf Teneriffa[2]) keine deutlichen Wirkungen der Bestrahlung auf den Gaswechsel (vgl. auch „Allgemeine Klimatophysiologie" S. 33 ff)[3]).

---

[1]) Hasselbalch und Lindhard, Skand. Arch. f. Physiol. 25 S. 361 (1911).

[2]) Durig, v. Schrötter und Zuntz, Bioch. Zschr. 39 S. 469 (1912).

[3]) Die Wirkung des Höhenklimas auf den Stoffwechsel, besonders auch auf den Eiweißstoffwechsel, wollte Mansfeld durch innersekretorische Störungen erklären. Die Funktion

In denjenigen Höhen, in denen bereits bei Körperruhe Sauerstoffmangel eintreten kann, ist dieser jedenfalls einer der wirksamen Faktoren. Denn auch in diesen Höhen (Monte-Rosa-Spitze) vermochten weder Bestrahlung noch niedrige Temperatur den Gaswechsel bei den daraufhin untersuchten Personen zu beeinflussen, und auch zum Verhalten der Luftelektrizität ließ sich keine sichere Beziehung finden.

Daß in der pneumatischen Kammer bei Verdünnungen, die bis zu ½ Atmosphäre gingen, entsprechend mehr als 5000 m Höhe, keine oder viel geringere Steigerungen als im Höhenklima beobachtet wurden, spricht nicht gegen die Bedeutung der Luftverdünnung[1]), denn die Kammerversuche dehnten sich gewöhnlich nur wenige Stunden aus, während beim Höhenaufenthalt sie tage- oder wochenlang einwirken konnte, so daß geringe Änderungen im Stoffwechsel sich langsam summieren und nachweisbar werden konnten. Allerdings verbrachte in Versuchen von Hasselbalch und Lindhard[2]) eine Versuchsperson 14 Tage bei 450 mm Druck, gleich 4100 m Höhe, ohne daß eine Gaswechselsteigerung eintrat. Aber in bezug auf die Luftverdünnung, bei der die Steigerung des Gaswechsels einsetzt, bestehen erhebliche individuelle Unterschiede, wie die vorstehenden Angaben erkennen lassen, so daß bei der Versuchsperson, die im Höhenklima selbst bei 3290 m noch keine Stoffwechselsteigerung erfahren hatte, die Grenze der Anregung beim Aufenthalt in der pneumatischen Kammer noch nicht erreicht zu sein brauchte.

Beim Verlassen des Höhenklimas kehrte der Ruhegaswechsel häufig nicht sogleich wieder zur Norm zurück. Jaquet und Stähelin[3]) fanden ein sehr allmähliches Absinken, während Zuntz und Genossen sowie Hasselbalch und Lindhard alsbald eine Senkung unter die normalen Werte feststellen konnten.

Wie beim Aufenthalt im Hochgebirge ist auch bei Luftballonfahrten von Zuntz und v. Schrötter[4]) in Höhen zwischen 3200 und 5160 m eine Steigerung des Gaswechsels gefunden worden, die nach Abzug des Energieaufwandes für die gesteigerte Atemarbeit + 14% betrug.

b) Der Stoffwechsel bei Muskelarbeit.

Wie der Erhaltungsumsatz im Höhenklima, individuell in verschiedener Höhe beginnend, fast ausnahmslos gesteigert wird, um mit der Gewöhnung an die Höhe wieder zu sinken, so ist der Energieverbrauch bei Muskelarbeit, selbst bei Gleichhaltung aller äußeren Versuchsbedingungen, im Höhenklima erhöht. Das ist bisher allein für Marscharbeit sichergestellt worden und gilt sowohl für Horizontalmärsche, wie für solche bergauf.

Allerdings die Höhengrenze und der Umfang der Zunahme wechseln auch hier von Person zu Person erheblich, aber die steigernde Wirkung auf den Umsatz ist bei Arbeitsleistung fast deutlicher als für Körperruhe.

Arbeitsversuche sind zuerst von Zuntz und Schumburg[5]), später von den Brüdern Loewy und L. Zuntz[6]), dann von Bürgi[7]), von Zuntz, Loewy, Müller,

---

der Schilddrüse sollte eine Schädigung erfahren. Jedoch muß diese Anschauung, die besonders durch Hári eine eingehende Kritik erfahren hat, vorläufig noch zweifelhaft erscheinen.

[1]) E. Aron, Festschrift für J. Lazarus. Berlin 1899.

[2]) Hasselbalch und Lindhard, Biochem. Zschr. 68 S. 265 u. 295 (1915).

[3]) Jaquet und Stähelin, Arch. f. exper. Path. 46 S. 274 (1901).

[4]) v. Schrötter und Zuntz, Pflüg. Arch. 92 S. 479.

[5]) Zuntz-Schumburg, Pflüg. Arch. 63 S. 461.

[6]) A. und J. Loewy und L. Zuntz, Pflüg. Arch. Bd. 66 S. 471.

[7]) Bürgi, Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1900 S. 508.

Caspari[1]), von Durig und Zuntz[2]) und Durig und Genossen[3]) durchgeführt worden.

Schon in Höhe von 2100 m zeigte sich bei einzelnen eine geringe, aber deutliche Zunahme des Energieverbrauches beim horizontalen Gehen, beim Bergaufgehen schon in 500 m. Beträchtlicher war sie in 2900 m und sehr stark in 4560 m.

So war der Energieverbrauch in Gramm-Wärmeeinheiten für je 1 kg und 1 m Weg beim Horizontalgehen:

Tabelle 22.

Person	Tiefland	in 2900 m Höhe	Zunahme in der Höhe in Prozent
A. Loewy	0,668	0,674	+ 1
J. Loewy	0,544	0,816	+ 50
L. Zuntz	0,574	0,604	+ 5,2
N. Zuntz	0,678	0,663	—2,2
A. Durig	0,527	0,584	+ 10,8
Mittel:	0,598	0,668	11,7

In 4560 m Höhe waren die Verbrauchswerte folgendermaßen erhöht:

Person	Tiefland	4560 m	Zunahme in Prozent
Durig	0,527	0,668	+ 26,8
Zuntz	0,678	0,774	+ 14,2

Diese Steigerungen kann man als Höhenwirkung betrachten, da die Horizontalmärsche in der Höhe unter denselben günstigen Bedingungen wie in der Tiefe verliefen, die in 4560 m Höhe im Innern der Hütte.

Anders ist es mit dem Bergaufmarschieren. Hier machen sich schon geringe Unterschiede im Steigungswinkel, Unebenheiten des Bodens, Beschaffenheit des Bodens nach Festigkeit oder Nachgiebigkeit (Schneebedeckung) in bedeutendem Maße auf den Verbrauch geltend, so daß die im Hochgebirge gefundenen Steigerungen nicht in ihrem ganzen Umfange auf die Höhe bezogen werden können. Einige Zahlen seien angeführt, weil es immerhin von ärztlichem Interesse ist, wie stark die Anforderungen an den Umsatz im Hochgebirge gesteigert werden, selbst wenn die Steigungen absichtlich den im Tieflande annähernd gleich gemacht oder geringer genommen worden sind, und wo auch im Tieflande der Marsch auf schneebedecktem Boden ausgeführt wurde (siehe Tabelle 23 auf S. 238).

Die Ursache des Mehrverbrauches, der übrigens für mittlere Höhen durch Training oft vollkommen rückgängig werden kann — in 4560 m Höhe waren auch nach vierwöchigem Aufenthalt die Werte für den Energiebedarf bei Steigarbeit noch erhöht bei Durig und Genossen, die allerdings von vornherein im Training waren — ist in der unzureichend werdenden Sauerstoffzufuhr zu den arbeitenden Muskeln zu suchen. Es ist durch Versuche festgestellt, daß bei beschränkter Sauer-

[1]) Zuntz, Loewy, Müller, Caspari, Höhenklima usw. Berlin 1906.

[2]) Durig und Zuntz, Trav. du Labor. scientif. du Mont Rosa. Trav. de l'année 1903. Turin 1904. Auch Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1904.

[3]) Durig, Kolmer, Reichel, Rainer, Caspari, Denkschr. d. Wien. Akad. d. Wissensch. Bd. 86 (1909).

Tabelle 23.
Wärmeeinheiten für das Meterkilogramm Steigarbeit.

Person	Berlin 54 m 30,5% Steigung	Brienz 500 m 25% Steigung	Col d'Olen 2900 m 23—33% Steigung	Prozentische Zunahme	Gnifetti-hütte 3700 m 35% Steigung	Prozentische Zunahme	Monte-Rosa-Spitze 4560 m 7—29% Steigung	Prozentische Zunahme
A. Loewy	6,73	—	8,05	*19,6*	9,21	*36,9*	—	—
J. Loewy	7,22	—	8,23	*14,0*	8,99	*24,5*	—	—
L. Zuntz	6,40	—	8,78	*37,2*	8,36	*30,6*	—	—
Kolmer	—	5,48	—	—	—	—	13,21	*141,1*
Caspari	—	6,60	—	—	—	—	11,60	*75,8*
Zuntz 1901	—	6,16	—	—	—	—	10,34	*67,9*
„ 1903	12,68 imSchnee	—	—	—	—	—	14,65	*11,6*
A. Durig 1903	8,20 imSchnee (Wien)	—	—	—	—	—	9,76	*19,0*

stoffzufuhr auch im Tieflande die Arbeit mit größerem Energieverbrauch erfolgt[1]) wohl weil die in ihrer Leistungsfähigkeit geschwächten Muskeln unzweckmäßiger arbeiten.

Vom ärztlichen Gesichtspunkte wichtig ist der allmähliche Rückgang des Umsatzes mit zunehmender Übung. Er läßt schließen, daß die Sauerstoffzufuhr zu den Muskeln sich fortschreitend bessert, und das kann nur durch eine zweckmäßige Anpassung der Atmung und des Kreislaufes geschehen derart, daß durch beides die Sauerstoffversorgung der Gewebe verbessert wird. So zeigen auch diese Beobachtungen die sich allmählich erhöhende Leistungsfähigkeit von Atemtätigkeit und Kreislauffaktoren bei Arbeitsleistung im Höhenklima.

c) Der Eiweißstoffwechsel.

Der erste, der das Verhalten des Eiweißstoffwechsels im Höhenklima mit dem im Tieflande verglich, war Veraguth[2]). Bei annähernd gleicher Nahrung ermittelte er es einerseits in Zürich, andererseits in St. Moritz. Aus seinen, mit nicht ganz vollkommener Methodik gewonnenen Ergebnissen zog er den Schluß, daß im Höhenklima ein Eiweißansatz eintreten könne, wo er unter gleichen Bedingungen im Tieflande sich nicht einstellte. Genauer untersucht wurde der Stickstoffwechsel von Jaquet und Stähelin[3]), die ihn in Basel und auf dem Chasseral (Jura, 1600 m Höhe) bestimmten. Auch diese fanden eine Stickstoffretention an letzterem Orte, die so erheblich war, daß sie in 12 Tagen der Bildung von 600 g Muskelfleisch entsprechen würde. Jaquet selbst macht darauf aufmerksam, daß ein Teil des zurückgehaltenen Stickstoffes auf die Mehrbildung von Blutzellen entfalle, daß aber die Gesamtmenge des retinierten Stickstoffes zu erheblich sei, um durch die Blutneubildung erklärt werden zu können.

Noch auffallender sind die Ergebnisse von Zuntz und Genossen. Bei ihnen trat schon in 500 m ein dem Umfange nach individuell schwankender Eiweißansatz auf, der in 2100 m Höhe weit ausgeprägter war. Dabei wurde bei einzelnen Personen (Veraguth, Jaquet und einzelnen Teilnehmern der Zuntzschen Expedition) beim Übergang von niedrigeren zu größeren Höhen für die ersten Tage ein Mehr-

[1]) A. Loewy, Pflüg. Arch. 49 S. 405 (1891).
[2]) Veraguth, Le climat de la haute Engadine etc. Thèse de Paris 1887.
[3]) Jaquet und Stähelin a. a. O.

zerfall von Eiweiß festgestellt, dem dann der erhöhte Ansatz folgte. Der primäre Mehrzerfall tritt nicht nur ein, wenn die Höhe durch anstrengenden Aufstieg erreicht wird, sondern auch bei passiver Beförderung, so daß er nicht durch die mit dem Aufstieg verbundene Muskelarbeit, wie Jaquet wollte, erklärt werden kann, vielmehr einem Klimareize zugeschrieben werden muß, der, wie es scheint, bei an das Höhenklima noch nicht Gewöhnten sich äußert.

Auch auf den Durigschen Expeditionen sowie bei v. Wendt[1]) war die Stickstoffretention zu erkennen; in ersteren war sie in 1000 m Höhe schon ausgeprägt und war bei beiden in 2900 m und auch noch in 4560 m Höhe vorhanden.

Sind die Stickstoffretentionen schon bei Körperruhe ausgebildet, so können sie bei Arbeitsleistung in mittleren Höhen noch weit erheblicher werden. Das entspricht den Erfahrungen im Tieflande, in dem Muskelarbeit ja auch zu Eiweißansatz führt.

Zur Veranschaulichung seien einige Werte der Durigschen Expedition wiedergegeben, die die Tagesmittel der Stickstoffbilanzen bei gleicher Ernährung darstellen.

Tabelle 24.

N-Bilanz. Tagesmittel.
(Unter Berücksichtigung der N-Verluste durch die Haut.)

		Durig (15 g*)	Kolmer (16,3 g*)	Rainer (16 g*)	Reichel (16,8 g*)
Wien 150 m	Ruhe	—0,113	—0,124	+0,778	—1,683
Monte Rosa 4560 m	,,	+2,894	+2,195	+1,486	—1,403
	Arbeit	+2,404	+2,399	+1,565	—0,638
		(9 g*)	(10,0 g*)	(16 g*)	(16,8 g*)
Monte Rosa 4560 m	Arbeit	+1,241	—0,004	+2,400	+1,341
	Ruhe	+1,270	+1,091	+3,214	+0,494
	,,	+0,308	+0,446	+1,260	—0,432
Alagna 1200 m	,,	+0,101	—0,960	+0,850	—0,350
Wien 150 m	Arbeit	—0,431	—0,737	—	—1,736
	Ruhe	—0,139	—0,745	—0,759	—1,485
Semmering 1000 m	,,	+0,909	—	—	—0,970
Wien 150 m	,,	+0,027	—	—	—1,846

* N-Zufuhr mit der Nahrung.

Selbst wo, wie vorstehende Zahlen erweisen, im Tieflande die Stickstoffbilanz negativ war, konnte sie in der Höhe stark positiv werden.

Die Frage ist nun, wie die Stickstoffretention zu deuten ist. Man muß annehmen, daß sie einen wirklichen Eiweißansatz bedeutet. Darauf läßt die Tatsache schließen, daß es nach der Rückkehr ins Tiefland nicht zu einer Mehrausscheidung von Stickstoff kommt; im Gegenteil war die Retention nach dem Übergang aus größeren in mittlere Höhen häufig noch gewachsen. Daneben spricht die Ausscheidung der Mineralstoffe mit dem Harn in demselben Sinne; speziell die Schwefelbilanz war gleichfalls stets positiv (vgl. S. 241).

Aus dem Verhalten der Harnsalze zog v. Wendt noch weitere Schlüsse. In 2900 m wurden neben viel Stickstoff weniger Schwefel und Phosphor zurückgehalten. Es soll danach ein Gewebe gebildet werden, das an P und S arm, an N reich ist. v. Wendt nimmt vorwiegend die Bildung roter Blutzellen in dieser Höhe an. Dagegen wurde in 4560 m Höhe viel S und P zurückgehalten, woraus v. Wendt hier auf die Bildung vorwiegend von Muskelsubstanz schließt.

[1]) v. Wendt, Skand. Arch. f. Physiol. 24 S. 247 (1911).

Der Eiweißansatz erfolgt nun nicht bei allen Menschen bis in Höhen über 4000 m. Vielmehr kann er schon vorher in das Gegenteil umschlagen, in Eiweißverlust. So verhielt sich M. auf der Zuntzschen Expedition in 2900 m Höhe. In 4560 m war bei allen Teilnehmern der Expedition ein mehr oder weniger starker Eiweißverlust festzustellen, der auf die bestehende Bergkrankheit und ungenügende Nahrungsaufnahme zu beziehen ist. Jedoch kann letztere allein nicht verantwortlich für ihn gemacht werden, da der Verlauf der Stickstoffausscheidung ganz anders war als bei Nahrungsmangel im Tieflande. Daß es sich hier um Störungen des Eiweißabbaues handelte, wird auch durch das Verhalten des sog. kalorischen Quotienten des Harns — des Verhältnisses von N zu Kalorien — erwiesen. Während er bis zu 2900 m Höhe keine Abweichung gegenüber Berlin erkennen ließ, war er in 4560 m deutlich gesteigert. Mit dieser Steigerung einher ging, wie Loewy fand, das Auftreten unvollkommener Eiweißabbauprodukte — Aminosäuren — im Harn.

Im Harn sich kenntlich machende Stoffwechselstörungen fanden in Monte-Rosa-Höhe auch Cohnheim[1]) und Genossen, nämlich eine Zunahme von Kaliumpermanganat reduzierenden Stoffen. Sie beziehen sie auf das Auftreten von Milchsäure, für die auch, wie S. 248 besprochen werden wird, eine Zunahme im Blute in dieser Höhe festgestellt worden ist.

Eine Störung des Eiweißstoffwechsels stellt auch der von Guillemard und Moog[2]) am Mont Blanc erhobene Befund dar, daß an der Gesamtstickstoffausscheidung im Harn der Harnstoff weniger beteiligt ist, als im Tieflande.

Man muß die Störungen des Eiweißabbaues mit dem Sauerstoffmangel, der bei vielen zu ausgeprägten Bergkrankheitserscheinungen führte, in Zusammenhang bringen. Bei Durig und seinen Teilnehmern war eine Störung des Eiweißabbaues chemisch nicht nachweisbar, aber die Tendenz des kalorischen Quotienten des Harns zum Ansteigen, war auch bei einzelnen von ihnen vorhanden.

Es spielen also individuelle Momente hier mit. Das zeigen auch Versuche von Signorelli[3]), der eine Zunahme der Aminosäureausscheidung im Hochgebirge nicht nachweisen konnte.

Wendt untersuchte die Ausscheidung der Endprodukte des Purinstoffwechsels: Harnsäure und Purinbasen. Sie wurden in 4560 m Höhe nicht vermehrt ausgeschieden. — Ebensowenig die Menge des sog. Neutralschwefels. — Bei Muskelarbeit im Hochgebirge tritt, wie Scaffidi[4]) fand, keine Vermehrung der Harnsäureausscheidung, eine geringe der Purinbasen ein; aber nach ihrer Beendigung steigen Harnsäure-, Purinbasen- und Phosphorsäureausscheidung schnell an, wohl infolge vermehrten Zerfalles von Kerneiweiß[3]).

Für gesunde erwachsene Personen ist im Tieflande nur ein Faktor bekannt, der zu Eiweißansatz zu führen vermag, das ist Muskelarbeit. Das Höhenklima wirkt als solches in demselben Sinne, so daß in ihm ein Erwachsener sich verhält wie ein noch Wachsender im Tieflande. Das kann man mit Recht eine verjüngende Wirkung nennen, die an die Seite zu stellen ist der, die sich auf die Blutneubildung bezieht.

Diese Wirkung kommt den klimatotherapeutisch benutzten Höhenlagen zu, scheint am ausgeprägtesten zu sein bei jugendlichen Personen und kann durch nicht übermäßige Körperarbeit gesteigert werden.

Beim Aufstieg in größere Höhen (2900 m und mehr) kann der Eiweißansatz in Eiweißverlust übergehen; jedoch kommen diese Höhen für Klimakuren nicht mehr in Betracht.

---

[1]) Cohnheim, Kreglinger, Tobler, Weber, Zschr. f. physiol. Chem. 78 S. 62 (1912).
[2]) Guillemard und Moog, Compt. rend. 141 S. 843 (1905).
[3]) Signorelli, Biochem.Zschr. 39 S. 36 (1912).
[4]) Scaffidi, Internat. Beitr. zur Pathol. u. Ther. d. Ernährungsstörungen II (1910).

d) Der Mineralstoffwechsel, Wasserstoffwechsel.

Die Mineralbestandteile des Harns sind besonders eingehend von v. Wendt (a. a. O.) und von Durig und Genossen untersucht worden im Hinblick auf etwaige Stoffwechselstörungen, insbesondere auch, wie schon erwähnt, mit Rücksicht auf die Deutung der gefundenen Stickstoffretentionen. Zu diesem Zwecke hatten schon Jaquet und Stähelin die Chlor- und Phosphorausscheidung bestimmt.

Aus Wendts Zahlen geht hervor, daß mit der Stickstoff- auch die Schwefelbilanz stets positiv war. Die Phosphorbilanz war nur in 4560 m Höhe positiv, nicht in 2900 m; die Kalkbilanz dagegen stark negativ. In 2900 m wurde auch Eisen stark retiniert, weniger in 4560 m Höhe. Letzteres ist mit ein Grund für die erwähnte Annahme Wendts, daß in geringeren Höhen hauptsächlich die Blutbildung, in größeren mehr die Bildung von Muskelsubstanz angeregt wird.

Steigerung der Phosphorsäureausscheidung nach Märschen fand sich im Hochgebirge. Märsche im Hochgebirge führen auch zu starker Kochsalzabgabe von der Haut aus; sie kann, wie Cohnhein[1]) und Genossen fanden, so weit gehen, daß die Salzsäuresekretion im Magen geschädigt wird. Daß hierbei auch der Wasserwechsel erhebliche Veränderungen erfährt, ist verständlich. Die starken Wasserabgaben bei Menschen im Hochgebirge mit den durch sie verursachten Gewichtsstürzen sowie die darauffolgende Wasserretention haben Cohnhein und Genossen (a. a. O.), sowie Galeotti und Signorelli[2]) genauer zahlenmäßig verfolgt.

5. Körpertemperatur.

Das Höhenklima beeinflußt die Wärmeerzeugung und auch die Wärmeabgabe. Trotzdem braucht natürlich das Resultat beider, die Körpertemperatur, keine Änderung zu erfahren, denn das ist gerade das Kennzeichen der homoiothermen Wesen, daß Erzeugung und Abgabe der Wärme derart aufeinander abgestimmt sind, daß die Temperatur des Körpers bis auf geringe Schwankungen gewahrt bleibt.

So ist es auch im Höhenklima. Zuweilen sind nach dem Übergang in Höhenkurorte vorübergehende mäßige Steigerungen gesehen worden, aber im allgemeinen bleibt bis gegen 2000 m die Körpertemperatur bei Körperruhe unbeeinflußt. Um sichere Werte zu haben, sollten nur die morgendlichen Messungen beachtet werden, denn Muskeltätigkeit führt leicht zu Steigerungen, die lange in die Nacharbeitszeit hineinreichen. Ja selbst die Morgentemperaturen können im Höhenklima infolge von anstrengender Arbeit des voraufgehenden Tages noch von der Norm abweichen.

In 2100 m (auf dem Brienzer Rothorn) war die Morgentemperatur nur bei einem der sechs Teilnehmer der Zuntzschen Monte-Rosa-Expedition um 0,2—0,3° erhöht, bei allen in 2900 m in individuell verschiedenem, meist geringem Maße. Erheblich sind die Steigerungen, die auf der Monte-Rosa-Spitze (4560 m) bei allen Teilnehmern sowohl auf der Zuntzschen wie auf der Durigschen Expedition gefunden worden sind. Sie waren am stärksten in den ersten Tagen ausgeprägt, um weiterhin wieder abzusinken. Als Beleg seien folgende Werte angeführt (siehe Tabelle 25 auf S. 242).

Eine eindeutige Erklärung läßt sich für die Körpertemperatursteigerungen im Höhenklima vorläufig nicht geben. Die gefundenen Umsatzzunahmen können sie natürlich nicht erklären, man müßte zugleich eine Veränderung der Wärmeabgabe, also eine Störung der Wärmeregelungsvorgänge annehmen. Irgend ein weiterer Hinweis auf solche liegt aber nicht vor, ja das Verhalten der Körpertemperatur nach Muskelarbeit widerspricht dieser Annahme. Bemerkenswert ist, daß die Steigerung der Körperwärme auf der Monte-Rosa-Spitze nicht mit den Erscheinungen

---

[1]) Cohnhein, Kreglinger, Tobler, Weber, Zschr. f. physiol. Chem. 78 S. 62 (1912).
[2]) Galeotti und Signorelli, Biochem. Zschr. 41 S. 268 (1913).

Tabelle 25.

	Monte Rosa	Steigerung der Körpertemperatur
Zuntz	1. Tag	1°
	am folgenden Tage	keine
Caspari	1. u. 2. Tag	0,5°
	3. Tag	0,4°
Kolmer	1. bis 3. Tag	0,7°
	4. u. 5. Tag	0,15°
Loewy	1. Tag	1,7°
	2. „	1,2°
	3. bis letzter Tag	0,7°
Durigs Expedition (Mittel aller Teilnehmer)	1. Tag	+ 0,8°
	2. „	+ 1,05°
	3. „	+ 0,85°
	4. „	+ 0,5°

der Bergkrankheit parallel geht, denn weder auf der Zuntzschen, noch auf der Durigschen Expedition zeigten die am schwersten erkrankten Personen die höchsten Temperaturen.

Hervorgehoben sei endlich, daß nach Rückkehr aus 2100 m in 300 m Höhe die Körpertemperatur niedriger lag als vor dem Aufstieg.

Klimatisch wichtig ist das Verhalten der Körperwärme bei Muskelarbeit. Ebenso wie im Tieflande steigt sie auch im Höhenklima an, und zwar in individuell verschiedenem Grade, selbst bei gleicher Arbeitsleistung. Das erklärt sich einerseits aus der verschiedenen Fähigkeit zur Wärmeabgabe, wobei die individuell ungleiche Erregbarkeit der Schweißzentren (vgl. „Allgemeine Klimatophysiologie", S. 16) eine Rolle spielen dürfte derart, daß die Schweißbildung und damit der wesentlichste Faktor der Entwärmung bei dem einen früher, bei einem anderen erst spät eintritt. Andererseits steht der mit der verschiedenen körperlichen Leistungsfähigkeit wechselnde Energieaufwand für gleiche äußere Arbeit im ursächlichen Zusammenhange mit dem Grade der Steigerung der Körpertemperatur, da er bei Geübten und körperlich Tüchtigen geringer ist als bei Schwächlichen und Ungeübten.

Eine Besonderheit des Höhenklimas besteht aber darin, daß die Steigerung der Körpertemperatur bei Muskelarbeit geringer ist als im Tieflande, die Konstanz der Körpertemperatur also besser gewahrt bleibt. Alles dieses, nämlich die absolut geringe und individuell wechselnde und die durch Übung sich allmählich vermindernde Steigerung zeigt die folgende, dem Werke von Zuntz, Loewy, Müller, Caspari entnommene Tabelle. Es handelt sich um erhebliche Körperarbeit, nämlich um Berganstieg von 300 bis 2100 m (= 1800 m Höhendifferenz) in 4—5 Stunden. Die am Ende der Märsche sofort gemessene Körperwärme betrug:

Tabelle 26.

Datum	Kolmer	Müller	Loewy	Waldenburg	Zuntz
19. 8. 1901	—	39,1	—	—	—
20. 8. 1901	38,3	38,9	38,5	38,2	—
21. 8. 1901	37,8	38,7	38,0	—	—
22. 8. 1901	37,9	38,85	38,0	38,2	37,9

Diese günstige Wirkung des Höhenklimas hinsichtlich der Beeinflussung der Körpertemperatur durch Muskelarbeit erklärt sich aus seiner Beschaffenheit, die eine besonders umfängliche Wärmeabgabe zustandekommen läßt, infolge der niedrigen Temperatur und der gewöhnlich vorhandenen Luftbewegung, sowie — und das ist, wie in Abschnitt A erwähnt, eine Eigentümlichkeit des Höhenklimas, die von seiner Trockenheit und der Luftverdünnung abhängt — infolge der hohen Verdunstungskraft.

Die verhältnismäßig geringen Körpertemperatursteigerungen selbst bei schwerer Körperarbeit geben eine Erklärung für die bekannte Tatsache, daß im Gebirge — wenn die Erhebungen nicht derartige sind, daß es zu Sauerstoffmangel bei der Arbeit kommt — Muskelarbeit leichter und mit weniger Beschwerden geleistet werden kann als im Tieflande, in dem es schneller zu Erschlaffung infolge eintretender Überwärmung des Körpers kommt.

Wenn die Klimafaktoren des Hochgebirges — gemäß Abschnitt A — voll ausgebildet sind und vereint zur Wirkung kommen, so werden erhebliche Ansprüche an die Wärmeökonomie des Körpers gestellt. Von besonderer Bedeutung hierfür sind die Windverhältnisse, die die Wirkungen der Lufttemperatur weit überwiegen.

Daher kommt es, daß in ganz windgeschützten Tälern des Hochgebirges die Wärmeökonomie des Körpers weit weniger beansprucht wird, ja in bezug auf sie von einer anregenden Wirkung nicht mehr gesprochen werden kann. Nimmt man als Maßstab für diese Wirkung die Schnelligkeit der Abkühlung eines über Körpertemperatur erwärmten Thermometers und die Hauttemperatur[1]), so ergibt sich z. B. für das sehr windgeschützte Davos, wie Dorno[2]) gezeigt hat, ein so geringer Abkühlungswert, wie er nördlich der Alpen bisher nicht festgestellt worden ist. Dabei ist bemerkenswert, daß die jahreszeitlichen Schwankungen gering sind, geringer als an Tieflandorten, so daß die Abkühlung also auch im Winter gering bleibt.

6. Wirkung auf die Haut.

Das Hautorgan wird im Höhenklima in zweierlei Richtungen beeinflußt: in funktioneller und in anatomischer. In ersterer mehr durch Klimafaktoren, die dem Höhenklima nicht spezifisch zukommen, wenn sie auch in ihm besonders ausgebildet sein können, in letzterer durch diese sowohl wie auch durch Klimafaktoren, die für das Hochgebirge kennzeichnend sind, nämlich durch die intensive, an violetten und ultravioletten Strahlen reiche Sonnenstrahlung und die starke Verdunstungskraft.

Die Beeinflussung der Hautfunktion bezieht sich auf die Anregung der Tätigkeit der Haut- und Hautgefäßmuskeln. In der „Allgemeinen Klimatophysiologie" sowie in dem Abschnitt B, 1 dieses Kapitels wurden die hier in Betracht kommenden Vorgänge bereits erwähnt. Die starken Kontraktionen der glatten Hautmuskeln und der Hautgefäßmuskeln durch niedrige Temperaturen und kräftige Luftbewegungen, die Anregung zu ihrer gesteigerten Tätigkeit stellen ein Moment der Übung, eine Art Gymnastik dar, die sie zu schneller und zweckentsprechender Reaktion auf die Klimareize und besonders auf ihren Wechsel, wie er sich in dem Wechsel der Witterung ergibt, führt. Das ist aber die Grundlage dessen, was wir Abhärtung nennen. Das Höhenklima leistet in dieser Beziehung als solches dasselbe, was im Niederungsklima erst balneologische Vornahmen: Abwaschungen, Duschen, Bäder zustande bringen.

Die anatomischen Veränderungen, die die Haut im Höhenklima erfährt, kommen einerseits durch seine Trockenheit in Gemeinschaft mit kräftiger Luftbewegung zustande. Sie führen leicht zu Sprödigkeit und Rauhigkeit der Haut, zu Trennungen, „Schrunden" der Epidermis und damit zu Blutungen. Dasselbe

[1]) Vgl. „Allgemeine Klimatophysiologie" S. 90.
[2]) C. Dorno, Zschr. f. physik. diät. Ther. Bd. 26 (1922).

ist der Fall an den freiliegenden bzw. der Luft ausgesetzten Schleimhäuten, so daß es, wie besonders in größeren Höhen beobachtet wird, zu Blutungen aus dem Lippensaum, den Bindehäuten des Auges, der Schleimhaut der Nase kommt. An der Augenbindehaut bilden sich nicht selten Katarrhe aus, die mit mehr oder weniger reichlicher Absonderung, mit Ödemen der Lider und Verschwellung der Augen einhergehen.

Weitere anatomische Änderungen der Haut hängen mit der intensiven und an kurzwelligen Strahlen besonders reichen Sonnenstrahlung, wie sie dem Höhenklima eigentümlich ist, zusammen, und erreichen schnell Grade, die in anderen Klimaten kaum erreicht werden. Hierher gehört zunächst die zunehmende Pigmentierung der Haut, sodann, von ihr unabhängig, eine Hyperämie, die zu einem Erythem und weiterhin zu entzündlichen Vorgängen zu führen vermag. Über beides ist schon in dem Kapitel „Allgemeine Klimatophysiologie“ (S. 36 ff.) gesprochen worden.

Der vermehrte Pigmentgehalt der Haut bildet einen Schutz gegen die Tiefenwirkung der kurzwelligen Strahlen; denn der braune Farbstoff absorbiert diese und läßt so ihre Wirkung auf das Gefäßsystem der Haut und die daran sich schließenden entzündlichen Folgen nur in abgeschwächtem Maße zustande kommen. Das ist schon der Fall da, wo die Haut von Natur stark pigmentiert ist, während pigmentfreie Stellen (Vitiligo) besonders intensiv erkranken.

Die Hauterkrankung selbst kann verschiedene Grade erreichen, indem es bei einem Erythem verbleiben kann oder sich Abschuppungen einstellen, die so weit gehen, daß die Oberhaut sich in kleineren oder größeren Fetzen ablöst. Oder es treten bläschen- oder blasenförmige Bildungen auf, die eintrocknen und zu Borkenbildung führen, oder die platzen und zu einer Art nässenden Ekzems führen mit mehr oder minder heftigem Juckreiz. Versiegt die Lymphabscheidung aus diesen Stellen, so kommt es auch hier zur Bildung von Borken, die, häufig mit Hinterlassung pigmentierter Flecke, abheilen.

Die genannten Hautentzündungen gehen, außer mit Juckreiz, mit Hitzegefühl in den betroffenen Stellen, Brennen, Schmerzen einher, führen zu fieberhaften Temperatursteigerungen und Störungen des Allgemeinbefindens. Die Disposition für ihr Zustandekommen ist verschieden; manche Menschen haben eine Art Idiosynkrasie der Haut gegenüber den Höhenklimareizen, so daß sie dieses nur mit durch braune oder rote Salben gutgeschützter Haut oder mit gleichgefärbten Schleiern ohne Schaden aufsuchen können.

Auch die drüsigen Anteile der Haut, besonders die Schweißdrüsen, werden durch die Wärmestrahlung der Höhensonne leicht zur Tätigkeit angeregt, vor allem bei Muskelarbeit im Hochgebirge. Die leichte Verdunstung des Schweißes im Höhenklima steigert dessen wärmeregelnde Bedeutung über die im Tieflandsklima hinaus und läßt (vgl. Abschnitt 5) die Körpertemperatur selbst bei beträchtlichen Arbeitsleistungen weniger ansteigen als im Tieflande.

7. Wirkung auf die Sinnesorgane.

Alle funktionell wirksam werdenden Klimareize haben, wie die Reize der Umwelt überhaupt, ihren Angriffspunkt auf den lebenden Organismus in den Sinnesorganen. Welche Wege hierbei in Betracht kommen und welche Wirkungen von den einzelnen Wegen her erzielt werden, ist bereits in der Einleitung zu dem Kapitel „Allgemeine Klimatophysiologie“ besprochen worden (vgl. daselbst S. 4). So beeinflussen die Höhenklimareize besonders intensiv diejenigen Sinnesorgane der Haut, die dem Temperatursinn, aber auch die dem Drucksinn dienen, wobei bei

Ungewöhnten infolge der Stärke der Reize das Stadium der Erregung leicht überschritten und von dem der Lähmung abgelöst wird.

Unter den höheren Sinnen nimmt eine besondere Stellung gegenüber den Höhenklimareizen das Auge ein. Es kommt bei ihm infolge der intensiven Belichtung zu Zuständen der Überreizung der Netzhaut, die sich in Blendungserscheinungen mit folgender Schwächung des Sehvermögens, wie auch in einer Minderung der Farbenunterscheidung äußert. Die Sehschwäche (Amblyopie) kann in vollkommene Blindheit übergehen, bei der ophthalmoskopisch kein pathologischer Befund zu erheben ist. Der Zustand ist vorübergehend. Er tritt nicht nur bei direkter Belichtung des Auges durch die Sonnenstrahlung ein, sondern auch bei Einwirkung grellen reflektierten Lichtes, besonders leicht durch das von weiten Schneeflächen zurückgeworfene.

Diese Lähmung der Netzhautelemente ist besonders bei Überschreitung großer Schneefelder ohne Augenschutz durch dunkle Gläser beobachtet worden. Daher ihre Bezeichnung als Schneeblindheit[1]).

8. Wirkung auf das Nervensystem.

Durch die vielfachen kräftigen Reize des Höhenklimas muß das Nervensystem entsprechende Erregungen erhalten. Diese beeinflussen zunächst die höheren Zentren der Atmung und der Herztätigkeit sowie das vasomotorische Zentrum, sie müssen auch in irgendeiner uns noch unbekannten Weise auf das Wärmezentrum wirken und führen zu den mit diesen Erregungen verknüpften Folgen, die in den vorstehenden Abschnitten geschildert worden sind.

Aber neben diesen, physiologischen Gesetzen folgenden Erscheinungen treten schon in mittleren, klimatotherapeutisch benutzten Höhen Zeichen auf, die sich als nervöse Störungen darstellen und nicht leicht gedeutet werden können, wenn sie sonst gesunde Menschen betreffen.

Die Ärzte der in Höhen von etwa 1500 m ab gelegenen Kurorte kennen diese Störungen und bezeichnen sie als Akklimatisationsbeschwerden. Gewöhnlich bilden sie sich nach einiger Zeit zurück, können jedoch, wenn sie heftiger auftreten und länger als wenige Tage dauern, zum Aufsuchen tiefer gelegener Orte zwingen.

Diese Beschwerden bestehen in Kopfschmerz, Gefühl von Eingenommensein des Kopfes, zuweilen Schwindelerscheinungen, Schlaflosigkeit oder durch schwere Träume gestörtem Schlaf, und zuweilen in seelischen Störungen, die sich besonders in gemütlichen Depressionen äußern. — Diese Störungen sind denen ähnlich, die in größeren Höhen durch Sauerstoffmangel hervorgerufen und in ihrer Gesamtheit als „Bergkrankheit" zusammengefaßt werden (vgl. Abschnitt 9 S. 249). Aber in mittleren Höhen muß ihre Ursache eine andere sein, da hier eine unzureichende Sauerstoffzufuhr nicht annehmbar ist. Welche einzelnen Höhenklimareize ihr Zustandekommen bewirken, ist nicht sicher; immerhin handelt es sich um Klimareize, die bei Menschen mit abnorm leicht auf sie ansprechendem Nervensystem als Überreize wirken.

Die eben genannten Akklimatisationserscheinungen kommen dem davon Betroffenen zum Bewußtsein, da sie ihm Beschwerden machen. Dieses Bewußtwerden kommt nicht zustande bei anderen Wirkungen auf die seelischen Vorgänge, die von dem objektiven Beobachter wahrgenommen werden. Hierher gehört die häufig

[1]) Vgl. J. W. Hofmann, Mitteilungen d. deutsch-österreich. Alpenvereins Nr. 6 S. 64 (1886).

auftretende psychische Erregung, die sich deutlich macht in erhöhter Lebhaftigkeit, vermehrtem Tätigkeitsdrange, in lautem Sprechen, lebhaftem Gestikulieren, in übermäßiger Lustigkeit. Mosso gibt davon eine anschauliche Darstellung in seinem wiederholt angeführten Höhenbuche.

Dieses Bild verwandelt sich aber leicht in sein Gegenteil nach körperlichen Anstrengungen, die zur Ermüdung führen, und diese tritt im Höhenklima schneller und schon nach geringeren Anstrengungen ein als im Tieflande; Abspannung, Mattigkeit und Niedergeschlagenheit stehen nun im Vordergrunde. Sie beherrschen von vornherein die Szene in denjenigen Höhen, die schon zu erheblicherem Sauerstoffmangel führen, und sind als leichte Formen der Bergkrankheit aufzufassen.

Experimentell ist der Ablauf einzelner seelischer Vorgänge im Höhenklima nur selten untersucht worden, nämlich von Mosso und besonders eingehend von Durig und Reichel[1]); von beiden auf dem Monte Rosa. Beide kommen zu dem gleichen und etwas überraschenden Ergebnis, daß selbst in dieser Höhe (4560 m), in der die Wirkung des Sauerstoffmangels auf die körperlichen Funktionen doch schon in größerem oder geringerem Maße ausgeprägt ist, die untersuchten psychischen Vorgänge keinerlei deutliche Abweichung von den im Tieflande boten. So ging bei Mosso und seinem Bruder das Addieren und Multiplizieren von Zahlen ebenso schnell und sicher vonstatten wie in Turin, und die Reaktions- und Unterscheidungszeit war bei Durig und Reichel in Höhe und Tiefe gleichfalls die nämliche.

Untersuchungen im Ablauf der psychischen Vorgänge sind auch in der verdünnten Luft der pneumatischen Kammer von Kiesow[2]) und von Loewy und Placzek[3]) ausgeführt worden. Ebenso wie die im Höhenklima vorgenommenen Versuche ergaben auch diese, daß selbst bei schon erheblichen Luftverdünnungen die untersuchten psychischen Prozesse denselben Ablauf wie bei vollem Atmosphärendruck hatten oder nur wenig gestört waren. Bei Loewy und Placzek entsprachen die Verdünnungen Höhen von 2500—3000 m und von 4000—4500 m. Ihre Ergebnisse, die sich auf die Prüfung fortlaufender geistiger Arbeit, der Aufmerksamkeit, des Gedächtnisses, der Reaktionsgeschwindigkeit bei einfachen psychischen Vorgängen beziehen, sind dadurch von besonderem Interesse, daß sie zeigen, daß bei Höhenlagen, in denen die Zeichen körperlicher Minderleistung (am Dynamometer gemessen) schon sehr deutlich waren, und in denen man sich subjektiv auch psychisch erheblich beeinträchtigt glaubte, z. B. sich unfähig zu genügender Aufmerksamkeit, zu präziser geistiger Arbeit fühlte, doch die objektive Prüfung der einzelnen psychischen Funktionen ein normales oder nur wenig gestörtes Verhalten darbot.

Diesen Erfahrungen an die Seite zu stellen ist die Beobachtung von Durig und Genossen über das in großen Höhen häufig auftretende Schwindelgefühl beim Bücken. Auch für dieses konnten sie objektive Befunde, die es erklären könnten, nicht finden.

Die psychischen Funktionen verlaufen demnach im Hochgebirge weniger abweichend von der Norm, als die subjektive Schätzung annehmen läßt. Umgekehrt verhält es sich mit dem Gefühl der Anstrengung bei Muskelarbeit. Überläßt man den Umfang der Arbeit ganz dem Behagen, so wird im Hochgebirge weniger Arbeit geleistet als im Tieflande, ohne daß dies dem Arbeitenden bewußt wird, und bei gleichem Gefühl der Anstrengung wird in der Höhe weniger geleistet als in der Tiefe.

---

[1]) Durig und Reichel, Denkschr. d. Wiener Akad. d. Wissensch. Bd. 86 (1909).
[2]) Angeführt bei Mosso a. a. O.
[3]) Loewy und Placzek, B. kl. W. 1914 Nr. 23.

Hier bleibt also der Erfolg hinter der subjektiven Schätzung zurück.

Daß in übergroßen Höhen die mangelhafte Sauerstoffzufuhr zu Schädigung von Nervenzentren führen muß, ist verständlich. Nachgewiesen ist sie, wie S. 233 mitgeteilt, von Mosso für das Atemzentrum, dessen Erregbarkeit bei einzelnen Personen auf der Monte-Rosa-Spitze herabgesetzt war. Aber auch die des Schluckzentrums fand Galeotti[1]) hier verändert, indem die Anzahl der Schlucke, die zwischen zwei Atemzügen ablaufen konnte, bei den gleichen Personen in der Höhe bei weitem geringer war als im Tieflande, trotzdem in ersterer der Atem länger angehalten werden konnte.

9. Die Wirkung übermäßiger Höhen.

Während in mittleren Höhen derjenige Faktor des Höhenklimas, der ihm allein eigentümlich ist, die Luftverdünnung, nur für einzelne physiologische Wirkungen eine Rolle spielt, wird er ausschlaggebend, sobald Höhen erreicht werden, in denen die mit der Verdünnung der Luft parallel gehende Sauerstoffverarmung so hochgradig wird, daß die Sauerstoffversorgung der Gewebe unzureichend wird.

Diese hängt ab von der Sauerstoffmenge, die das Hämoglobin unter derjenigen Sauerstoffspannung aufnehmen kann, gegen die es in Gasaustausch tritt, das ist die in den Lungenalveolen. Wie weit diese beim Aufstieg in die Höhe sinken kann, geht aus Tabelle 20 (S. 232) hervor. Aber die Sauerstoffbindung an das Hämoglobin geht nicht der abnehmenden Sauerstoffspannung parallel, ist vielmehr eine Funktion der Dissoziationsspannung des Oxyhämoglobins. Nach deren Verlauf würde der Blutfarbstoff auf Grund der in Tabelle 20 angegebenen Sauerstoffspannungswerte aufnehmen können in 2150 m Höhe noch 85—90%, in 2900 m m ungünstigsten Falle 82%, in 3700 m 80%, in 4560 m immer noch 67% der im Tieflande aufgenommenen Menge.

An aufgebundenen Hunden in Äthernarkose stellten Mosso und Marro[2]) in 4560 m eine nur geringe Verminderung der Sauerstoffmenge im Arterienblut fest. Die Atmungsverhältnisse können jedoch hier nicht als normal betrachtet werden. Schlagintweit[3]) entnahm unter normalen Atmungsverhältnissen Bergeseln in 2900 m und einem Hunde in 4560 m Karotisblut. Auch bei diesen Tieren enthielt das Arterienblut noch reichlich Sauerstoff. Die prozentischen Sättigungen des Oxyhämoglobins entsprechen jedoch nicht den Werten, die Schlagintweit berechnet[4]).

Die vorhandenen Sauerstoffmengen sind noch so hoch, daß man nicht erwarten sollte, daß selbst in über 4000 m Höhe die Gewebe Mangel an Sauerstoff leiden, da ja beim Durchgang durch die Kapillaren das Arterienblut nur etwa $^1/_3$ seines Sauerstoffgehaltes einbüßt. Das ergibt sich aus einem Vergleich der Sauerstoffmenge im Arterien- und Venenblut. Aber, was untersucht und gefunden wird, ist der mittlere Gehalt des Venenblutes an Sauerstoff, also eines Mischblutes, das aus Organen mit hohem und solchen mit niedrigem Sauerstoffverbrauch stammt. Daher ist es sehr wohl möglich, daß das Venenblut im Mittel noch Sauerstoff enthalten kann, während Organe, die einen starken Stoffumsatz haben, schon Mangel an Sauerstoff leiden.

Das macht sich besonders geltend an demjenigen Organsystem, das bei seiner Arbeit den intensivsten Stoffwechsel hat, an der Muskulatur. Daher kommt es, daß die tätigen Muskeln im Höhenklima am ehesten versagen, lange bevor sonst ein Anzeichen von durch Sauerstoffmangel bedingter Schwäche zu bemerken ist. Der Sauerstoffmangel in den tätigen Muskeln drückt sich objektiv einerseits in dem

---

[1]) Galeotti, Labor. scient. internat. du Mont Rosa. Trav. de l'année 1903. Turin 1904.
[2]) Mosso und Marro, Arch. ital. de biolog. 41 S. 357.
[3]) Schlagintweit, Zschr. f. Biolog. 70 S. 111 (1920).
[4]) Vgl. A. Loewy, Jahresber. über d. ges. Physiol. 1920, 188.

Mehrverbrauch an Energie aus, der für gleiche Leistung in der Höhe benötigt wird. Beispiele dafür sind S. 237 gegeben; beim Bergaufsteigen kann dieser bei einzelnen Personen in 500 m deutlich werden, beim Horizontalgang in 2100 m. Wie die Zunahme sich in Höhen von 2900 m ab zahlenmäßig gestaltet, ergibt sich aus der Tabelle 22 auf S. 237.

Zweitens sinkt die Arbeitsleistung, wenn man ihren Umfang dem jeweiligen Behagen überläßt, und endlich sinkt die maximale Leistung, die noch ohne subjektive Dyspnoe durchgeführt werden kann. Folgende Beispiele seien angeführt:

Tabelle 27.
Nach dem Behagen geleistete Arbeit[1]).

Ort	Steigung in Prozent	Meterkilogramm Steigarbeit pro Minute		
		A. Loewy	J. Loewy	L. Zuntz
Berlin	37	570	580	309
Col d'Olen (2900 m)	30	440	504	574
Capanna Gnifetti (3700 m)	35	475	559	588

Die Maximalleistung betrug bei Schumburg[2]) in Berlin 999 mkg pro Minute, an der Bétempshütte (2800 m) 619 mkg, auf dem Monte-Rosa-Sattel (3800 m) 354 mkg.

Für eine gewisse Anpassung an die Höhe sprechen die an der Capanna Gnifetti gefundenen Werte (Tabelle 27). Sie sind nach achttägigem Aufenthalt in 2900 m gewonnen und zeigen einen Wiederanstieg der Muskelleistung.

Anderer Symptome des Sauerstoffmangels ist schon an verschiedenen Stellen Erwähnung geschehen. So der Unregelmäßigkeiten des Pulses, der Änderungen in der Art des Stoffzerfalls, die sich im Steigen des kalorischen Quotienten des Harns, im Auftreten abnormer Stoffe im Harn äußern, der Schädigung der Erregbarkeit des Atem- und Schluckzentrums.

Zu nennen wäre noch die in 4560 m Höhe von Galeotti[3]) festgestellte starke Verminderung der Blutalkaleszenz um 36—47%, die dann Durig und Zuntz[4]) schon in 2160 m Höhe mit 10% bestätigen konnten.

Sie wurde von Aggazzotti[5]) und Ryffel[6]) auch in der pneumatischen Kammer unter Luftverdünnungen, die einer Höhe von etwa 4500 m gleichkamen, gefunden.

Die Blutalkaliverminderung wurde bisher allgemein auf eine abnorme Säurebildung im Körper und Kreisen dieser Säure im Blute zurückgeführt. Schon vor langer Zeit hat Araki[7]) gezeigt, daß bei Tieren, die unter stark vermindertem Druck gehalten werden, Milchsäure im Blute auftritt; dasselbe fand Ryffel (a. a. O.) bei Menschen, die sich 4 Stunden bei einem Barometerdruck von 450—460 mm aufgehalten hatten. Beim Verweilen im Höhenklima fand Douglas[8]) das gleiche, und jüngstens konnte Laquer[9]) an in 2900 m Höhe sich aufhaltenden Menschen und

[1]) A. und J. Loewy und L. Zuntz, Pflüg. Arch. 66 S. 477 (1896).
[2]) Schumburg und Zuntz, Pflüg. Arch. 63 S. 461 (1895).
[3]) Galeotti, Arch. ital. de biol. 41 S. 80 (1904).
[4]) Durig und Zuntz, Skand. Arch. f. Physiol. 39 S. 133 (1913).
[5]) Aggazzotti, Arch. ital. de biol. 47 S. 55 u. 65 (1907).
[6]) Ryffel, Journ. of physiol. 39 (1910).
[7]) Araki, Zschr. f. physiol. Chem. 15 S. 335 (1891).
[8]) Douglas, Ergebn. d. Physiol. 14 S. 338 (1914).
[9]) Laquer, Zschr. f. Biolog. 70 S. 99 (1920).

Tieren feststellen, daß die Milchsäure gegenüber den Werten des Tieflandes gesteigert war. Ein folgender Aufenthalt in 4560 m ließ keinen Mehrgehalt mehr erkennen.

Auf Gegenwart saurer Produkte im Blute weist auch der Befund von Barcroft[1]) hin, wonach schon in 3300 m Höhe die Dissoziationskurve des Oxyhämoglobins derart verändert sein kann (abgeflacht), wie es durch Zusatz von 70—80 mg Milchsäure auf 100 ccm Blut im Tieflande erreicht werden kann.

Gegenüber den vorstehend zusammengestellten Befunden wird neuerdings von einigen Autoren die Bildung saurer Produkte im Körper durch Sauerstoffmangel geleugnet und die verminderte Kohlensäurespannung im Blute beim Aufenthalt in großen Höhen, sowie die Abnahme des Blutalkalis anders gedeutet.

Schon Fitzgerald[2]) hatte den Zusammenhang der Abnahme der CO_2-Spannung des Blutes (vgl. S. 230) mit dem Auftreten einer Säure abgelehnt. Laquer kommt auf Grund seiner oben mitgeteilten Ergebnisse zu der Anschauung, daß ein Zusammenhang zwischen den Höhenkrankheitserscheinungen und der Milchsäure im Blute nicht bestehe. Eine neue theoretische Deutung geben aber auf Grund von Versuchen Haggard und Henderson[3]). Danach soll irgendein unbekannter Stoff beim Höhenaufenthalte im Blute auftreten, der das Atemzentrum zu gesteigerter Tätigkeit anregt[4]). Die vermehrte Lungenventilation führt ihrerseits zu vermehrter Kohlensäureabgabe aus dem Blute, es kommt eine „Hypokapnie" zustande, wie sie auch bei Säurevergiftung gefunden wird. Das normale Verhältnis zwischen gelöster und Bikarbonatkohlensäure $\frac{H_2CO_3}{(NaHCO_3)}$ ist nun gestört in der Richtung, daß die Blutalkalimenge vermehrt ist. Es entsteht also eine (relative) Alkalosis. Diese ist aber vorübergehend, denn das überschüssige Alkali wandert dann aus dem Blute hinaus, so daß das normale Verhältnis zwischen Blutalkali und Kohlensäure sich allmählich wieder einstellt. Bei Säurevergiftung ist umgekehrt das Primäre die Freimachung von Kohlensäure im Blute, die sekundär zur Steigerung der Lungenventilation führt[5]). Die von Haggard und Henderson dargestellten Vorgänge sind die Folge jeder, nicht aus Stoffwechselstörungen angeregten Atmungssteigerung und müssen sich deshalb in jeder Höhenlage finden, in der die Atmung abnorm gesteigert ist. Sie sind aber kein Gegenbeweis gegen eine Säurebildung, die sich erst oberhalb bestimmter Höhengrenzen einstellt und die nicht nur durch den Befund von Milchsäure im Blute, sondern mehr noch durch die erwähnte Änderung der Form der Dissoziationskurve des Oxyhämoglobins erwiesen wird.

Wie man nun auch den Zusammenhang auffassen mag, jedenfalls führt der Sauerstoffmangel, der je nach der Körperkonstitution in verschiedener Höhenlage einsetzt, zu Krankheitserscheinungen, die individuell und nach den äußeren Bedingungen wechselnd sein können, nicht nur dem Grade, sondern auch der Art nach. Man hat für sie auf Grund ihrer ursächlichen Zusammengehörigkeit den Namen der **Bergkrankheit** oder Höhenkrankheit eingeführt.

Bezüglich der Einzelheiten muß auf die Darstellungen von Meyer-Ahrens[6]), Paul Bert[7]), v. Schrötter[8]), Kronecker[9]) und bei Zuntz und Genossen[10]) verwiesen werden.

Hier kann nur kurz erwähnt werden, daß für das Symptomenbild der Berg-

---

[1]) Barcroft, Journ. of physiol. 42 S. 44 (1911).

[2]) Fitzgerald, Philos. transact. roy. soc. London 1913.

[3]) H. W. Haggard und Y. Henderson, Journ. of biolog. chemistr. 43 (1920); mehrere Arbeiten.

[4]) Vgl. dazu H. Winterstein, Pflüg. Arch. 187 S. 293 (1921).

[5]) Näheres bei Loewy, Jahresber. über d. ges. Physiol. 1920, 188.

[6]) C. Meyer-Ahrens, Die Bergkrankheit. Leipzig 1854.

[7]) P. Bert, La pression barométrique. Paris 1878.

[8]) H. v. Schrötter, Zur Kenntnis der Bergkrankheit. Wien u. Leipzig 1899.

[9]) H. Kronecker, Die Bergkrankheit. Berlin u. Wien 1903.

[10]) Zuntz, Loewy, Müller, Caspari, Höhenklima usw. Berlin 1906. Kap. XIX.

krankheit es ausschlaggebend ist, ob körperliche Ruhe oder körperliche Tätigkeit besteht. Im ersteren Falle treten die ersten und häufig einzigen Symptome am Großhirn auf: zunehmende geistige Erschlaffung, insbesondere Verlust der Willensenergie, fortschreitende Müdigkeit, Schläfrigkeit bis zum Auftreten festen Schlafes bzw. von Bewußtlosigkeit. Daneben zuweilen etwas Kopfdruck, leichter Stirn- oder Schläfenkopfschmerz; ausnahmsweise Atemnot oder Herzklopfen. Geht man aus der absoluten Ruhe zu irgendeiner Tätigkeit über, so gesellen sich weitere körperliche Symptome hinzu: beim Aufstehen oder Bücken Schwindel bis zur Gefahr des Fallens, Gefühl der Muskelschwäche und Unfähigkeit, gewollte Bewegungen präzis auszuführen, sodann Sehschwäche, starke Kopfschmerzen, Atemnot bis zu heftigen Beklemmungen, bei manchen Übelkeit und — unter Umständen lange sich wiederholendes — Erbrechen.

Diese Form der Krankheit kommt am reinsten vor in der verdünnten Luft der pneumatischen Kammer und bei Höhenfahrten im Luftballon. Durch Sauerstoffatmung kann sie ohne weiteres beseitigt werden. Sie findet sich aber auch im Hochgebirge, wenn man die erforderlichen Höhen passiv erreicht (in Tragsesseln oder mit Bergbahn) oder, wenn man sie aktiv erreicht hat, sich nun auf der Höhe körperlich vollkommen ruhig verhält oder doch nur leichte Verrichtungen vornimmt.

Leistet man jedoch irgendwelche schwere körperliche Arbeit, z. B. durch Bergansteigen, so ändert sich das Bild insofern, als nun die Beschwerden in erster Linie von den tätigen Muskeln ausgehen. Anders als bei der im Tieflande eintretenden Müdigkeit versagen sie hier mehr oder weniger plötzlich den Dienst, und nach kurzer Ruhe schon scheinen sie wieder voll leistungsfähig, um nach geringer Tätigkeit wieder zu versagen.

Der starke Sauerstoffverbrauch bei der Muskelarbeit bewirkt nicht nur, daß die Krankheitssymptome sich wesentlich an ihnen abspielen, sondern daß sie schon in geringeren Höhen bei Arbeitenden als bei Ruhenden auftreten. Bei Bergmärschen äußerten sie sich in Form von Stoffwechselstörungen schon in Höhen von 2100 m, wie Zuntz und Genossen fanden; bei Körperruhe treten sie bei einzelnen in 3000 m, bei der Mehrzahl von 4000 m Höhe ab, bei wenigen noch nicht in 5000 und 6000 m Höhe auf. Die Beschwerden treten besonders frühzeitig und intensiv auf, wenn die Körperarbeit zur Ermüdung, zumal des Herzens, geführt hat.

Der Erklärung der Bergkrankheit durch Sauerstoffmangel sind einige andere Theorien gegenübergestellt worden, die jedoch nicht als stichhaltig anerkannt werden können. So sollte nach Mosso[1]) der Mangel an Kohlensäure im Blute (die „Akapnie") sie verursachen, nach Kronecker[2]) sollte die Luftdruckverminderung zu Blutstauungen in den Lungen führen, die auf eine Schädigung des Herzens hinweisen, und diese sollte die Bergkrankheitserscheinungen veranlassen. Bei Zuntz und Genossen sind diese Ansichten kritisch gewürdigt und zu widerlegen gesucht worden. In jüngster Zeit hat Ducceschi[3]) der Meinung Ausdruck gegeben, es handele sich um eine durch die Luftdruckverminderung reflektorisch ausgelöste Vagusneurose.

Worauf beruht nun die verschiedene Wiederstandsfähigkeit gegen den Sauerstoffmangel? Dafür kommen innere und äußere Momente in Betracht. Keiner weiteren Erklärung bedarf die Tatsache, daß ein ruhender Mensch die gleiche Sauerstoffverarmung der Luft besser verträgt als ein arbeitender. Der bis zum Vielfachen des Ruhebedarfes gesteigerte Sauerstoffverbrauch bei letzterem muß schon bei einer viel geringeren Sauerstoffverarmung des Hämoglobins zu mangelhafter Sauerstoffversorgung der Gewebe führen.

---

[1]) Mosso, Der Mensch auf den Hochalpen. Leipzig 1899.
[2]) Kronecker, Die Bergkrankheit. Berlin u. Wien 1903.
[3]) Ducceschi, Arch. di fisiol. X S. 77 (1912).

Der verschieden große Sauerstoffbedarf spielt auch eine Rolle bei der individuell verschiedenen Widerstandsfähigkeit schon bei Körperruhe[1]). Aber wichtiger sind hierfür Unterschiede in der Atmungsform — ob hohe Frequenz bei flachen oder geringe bei tiefen Atemzügen — und der Ventilationsgröße pro Minute. Von beiden hängt die für die Sauerstoffsättigung des Hämoglobins maßgebende Höhe der alveolaren Sauerstoffspannung ab.

Weiter von Einfluß ist die Hämoglobinmenge selbst; dazu kommen Unterschiede in der Bindungsfähigkeit des Hämoglobins für Sauerstoff, also Verschiedenheiten im Verlauf der Dissoziationskurve des Oxyhämoglobins, endlich solche in der Schnelligkeit der Blutströmung.

Letzterer Faktor ist am wenigsten erforscht, so daß sich seine Bedeutung zahlenmäßig nicht einschätzen läßt. Auch über die Schwankungsbreite der Dissoziationskurve des Oxyhämoglobins beim Menschen liegen nicht so zahlreiche Bestimmungen vor[2]), daß allgemeingültige Angaben gerechtfertigt wären. Dagegen liegen genügende Zahlenangaben vor über den Hämoglobingehalt des menschlichen Blutes und über die alveolaren Sauerstoffspannungen. Ersterer kann bei Gesunden um 10—15% nach oben wie unten vom normalen Mittelwert abweichen, und letztere können so weit voneinander liegen, daß laut Tabelle 20 (S. 232) allein durch ihre Verschiedenheit bei den dort angeführten Personen ein Höhenunterschied von 2900 m bis 4560 m, d. s. 1660 m, ausgeglichen würde.

So ist es nicht unmöglich, daß bei einem Zusammentreffen der genannten Größen nach der günstigen oder ungünstigen Seite hin die Erkrankungsgrenze bei 6000 oder bei 3000 m liegen könnte.

Da Unterschiede der alveolaren Gasspannungen bei der gleichen Person durch Lage- und Stellungsänderungen des Körpers zustande kommen können[3]), ebenso auch durch Änderungen der Atmungsform, die im Schlaf z. B. durch Unregelmäßigkeit und Flachheit abweicht von der im wachen Zustande, erklärt sich auch die zeitlich verschiedene Disposition zur Erkrankung bei demselben Individuum, und besonders die Tatsache, daß während der nächtlichen Ruhe die Krankheitserscheinungen besonders schwer auftreten.

Hinzukommt, daß am Auftreten der Bergkrankheit klimatische Einflüsse beteiligt sind, jedoch gehen die Angaben über ihre günstige oder ungünstige Bedeutung auseinander. Nach vielfachen Angaben von Hochtouristen soll sie bei klarem, kaltem Wetter und wolkenlosem Himmel eher eintreten als bei dunstigem Wetter und bei Niederschlägen. Das Umgekehrte beobachtete an sich Hingston[4]). Man hat die Witterungseinflüsse mit Verschiedenheiten der Ionisation und Radioaktivität der Luft in Verbindung gebracht, ohne daß jedoch diese Frage bisher geklärt wäre (Knoche). Auch die Beobachtung ist noch nicht zu deuten, daß die Krankheit nicht in allen Gebirgen der Erde in gleicher Höhe einsetzt. In den Alpen und im Kaukasus macht sie sich schon in 3000 m bemerklich, in den Anden in 4000 m, im Himalaja meist erst in 5000 m.

Die Kenntnis der obengenannten individuellen Faktoren ist klimatotherapeutisch wichtig, denn sie kann eine Vorhersage gestatten in bezug auf die

---

[1]) Auf Herabsetzung des Sauerstoffbedarfes beruht wohl auch die größere Widerstandsfähigkeit schilddrüsenloser Tiere, auf seiner Steigerung die geringere milzloser, die Asher und Schüler feststellten. Worauf die größere Empfindlichkeit vitaminfrei ernährter Tiere (Tauben) gegen Sauerstoffmangel, die Abderhalden und Wertheimer angeben, zu beziehen ist, ist nicht sicher.

[2]) Z. B. Loewy, Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1904 S. 231; J. Barcroft, A. V. Bock, A. V. Hill und Genossen, Journ. of physiol. 56 S. 157 (1922).

[3]) G. Liljestrand und G. Wollin, Skand. Arch. f. Physiol. 30 S. 199 (1913).

[4]) R. W. G. Hingston, Indian j. of med. research. 9 S. 173 (1921).

Fähigkeit, das Höhenklima zu ertragen. Blutarme Menschen mit flacher Atmung sind jedenfalls wenig dazu geeignet, sie können schon in Höhen gegen 2000 m erkranken. Da die Bestimmung der Hämoglobinmenge, der Atemfrequenz und der Atemgröße einfach auszuführen ist, lassen sich wenigstens Schätzungen über die Fähigkeit im Ertragen mehr oder minder großer Höhen gewinnen[1]).

Vom ärztlichen Standpunkte wichtig ist auch die Kenntnis der Tatsache, daß Höhen, die heute mühelos mittels Bergbahnen erreicht werden können, zu heftigen Beschwerden Anlaß geben können. Vielfache Berichte über den Ausbruch schwerer Erkrankung liegen besonders aus den südamerikanischen Anden vor, die auf der einen (nördlicheren) Linie in Höhe von 4800 m, auf der anderen (südlichen) in 4550 m mittels Bahn überschritten werden. Mehrfach sollen Todesfälle sich ereignet haben[2]).

Das ist zu beachten, da ja die Bergbahnen an der Jungfrau und am Montblanc in ähnliche Höhen (4160 bzw. 4600 m) geführt werden sollen. Gerade die Erreichung größerer Höhen mittels Bahnen läßt die Bergkrankheitserscheinungen besonders leicht zum Ausbruch kommen, wobei einerseits die Schnelligkeit des Aufstieges eine Rolle spielt, andererseits die mehr oder minder absolute Körperruhe während der Bahnfahrt. Bei dieser kommt es nicht zur Ausbildung gesteigerter Atmung und beschleunigten Blutumlaufes, wie beim Aufstieg zu Fuß, also zu Vorgängen, die in ihrer Nachwirkung einen gewissen Schutz gegen die Erkrankung geben. Jedenfalls sind Beschwerden auf den Alpenbahnen schon in 3000 m, ja schon in 2100 m beobachtet worden.

10. Die Gewöhnung an das Höhenklima.

In den vorstehenden Abschnitten wurde schon mehrfach darauf hingewiesen, daß eine Gewöhnung an die vom Höhenklima ausgehenden Reize eintritt, so daß ihre Wirkung nach und nach geringer wird, um schließlich ganz schwinden zu können. Das entspricht einem ganz allgemeinen physiologischen Gesetze, dem der Abstumpfung bei längerer Einwirkung desselben Reizes. So verhält es sich z. B. mit der Atemfrequenz, mit dem Atemvolumen pro Minute, mit der Pulsfrequenz; für erstere beiden Größen wenigstens bei kürzerem Aufenthalt im Hochgebirge. Denn bei monate- und jahrelangem Aufenthalte in der Höhe scheinen aktive Veränderungen der Atemmechanik einzutreten, die man wohl als Anpassungserscheinungen bezeichnen kann. Sie führen dazu, daß, wie schon früher erwähnt, der Brustkorb sich weitet und die Vitalkapazität zunimmt. Das ist vielfältig aus verschiedenen Gebirgsländern der Erde berichtet worden (vgl. S. 234).

Andere Funktionen zeigen von vornherein Veränderungen, die, sofern sie in mittleren Höhen zur Beobachtung kommen, nicht ohne weiteres als Anpassungen aufgefaßt werden können, wenn mit dem Worte Anpassung der Begriff des funktionell Zweckmäßigen verbunden wird. So ist es mit dem Eiweißansatz und mit der Zunahme an Blutzellen und Hämoglobin in mäßigen Höhen. Die Blutveränderungen können höchstens vorbeugend wirken gegenüber den Anforderungen, die ein durch Muskelarbeit vermehrter Sauerstoffbedarf oder die größere Höhen stellen.

---

[1]) Eine direkte Methode zur Bestimmung der Widerstandsfähigkeit gegen Sauerstoffmangel rührt von Bohr und Krogh her. Sie beruht auf der Feststellung der sog. Diffusionskonstante der Lungenoberfläche für Sauerstoff. — Eine zweite, vielfach bei der Prüfung der Eignung zum Fliegerberuf praktisch verwendete, stellt unmittelbar den Sauerstoffgehalt der Einatmungsluft fest, bei dem schwere körperliche oder zerebrale Störungen einsetzen. (Vgl. z. B. bei Schneider-Truesdell: Amer. Journ. of physiol. 55 S. 223 (1921)).

[2]) v. Schrötter, Der Sauerstoff in Prophylaxe und Therapie der Luftdruckerkrankungen. Berlin 1904.

In diesen ist derjenige Faktor, der besondere Regelungsvorgänge im Körper verlangt, um ihnen gewachsen zu sein, der Sauerstoffmangel. Daß Vorgänge, die diesem Zwecke dienen, ziemlich schnell einsetzen, geht daraus hervor, daß die Erscheinungen der Bergkrankheit bei den meisten von ihr befallenen Personen sich in wenigen Tagen bessern. Was hierbei im einzelnen vorgeht, ist nicht genauer untersucht. Wahrscheinlich handelt es sich um Änderungen am Blutkreislaufapparate, durch die die Blut- und damit die Sauerstoffzufuhr zu den Geweben, speziell zum Hirn, verbessert wird. Die Zunahme an Blutzellen und Hämoglobin, die ja in demselben Sinne wirkt, kann dabei nicht in Betracht kommen, da sie zu langsam verläuft, um schon in 2—3 Tagen wirksam werden zu können; ihr Effekt kann erst bei längerem Aufenthalte sich geltend machen.

Aber die Regelungsvorgänge gegenüber dem Sauerstoffmangel sind doch begrenzt. Abgesehen davon, daß bei einzelnen Menschen die Schwere der Erscheinungen sich nicht mildert, bessern sich gewöhnlich nicht alle Symptome. In erster Reihe werden die vom Zentralnervensystem abhängigen und bei Körperruhe zutage tretenden rückgängig: die Willensschwäche, die Schlaffheit, Kopfschmerzen, Herzklopfen, Atemnot, Appetitlosigkeit. — Atemnot, Kopfschmerz, Herzklopfen, Schwächegefühl treten jedoch bei dem Versuche, körperliche Arbeit zu leisten, in höherem oder minderem Maße wieder auf.

Das gilt nicht nur für kurze Zeiträume, vielmehr für Monate und vielleicht Jahre. Pöppig[1]), der sich mehrere Jahre in den Anden aufhielt, gibt für die Bergstadt Cerro de Pasco in 4400 m an, daß im ersten Jahre kein Europäer seine Kraft wie in tieferen Gegenden brauchen kann; im Himalaya in 6000 m Höhe war es Conway[2]) und Jacot Guillarmod[3]) trotz monatelangen Aufenthaltes nicht möglich, ihre Leistungsfähigkeit zu steigern.

Ja selbst die Eingeborenen erkranken, wie Conway[2]), Sven Hedin[4]), Duceschi[5]) angeben, wenn sie Höhen aufsuchen, die diejenigen, auf denen sie dauernd leben, übertreffen. Ihre Anpassung ist also gerade für die Höhe eingerichtet, in der sie sich aufzuhalten gewöhnt sind. Und selbst auf dieser können sie unter besonders ungünstigen Umständen erkranken.

v. Schrötter[6]) hat die Höhenlagen, in denen ein Ausgleich gegenüber der Sauerstoffarmut der Atmosphäre möglich ist, als die der relativen Anoxyhämie bezeichnet gegenüber den, in denen das nicht mehr möglich ist. In letzteren besteht eine absolute Anoxyhämie.

11. Kurze Zusammenfassung der Wirkungen des Höhenklimas.

Ein Überblick über die in den einzelnen Abschnitten aufgeführten Wirkungen des Höhenklimas — soweit nicht in übergroßen Höhen gesundheitliche Schädigungen erzeugt werden — zeigt, daß sie durch ein ihnen gemeinsames Element verknüpft werden, das ist die Anregung zu gesteigerter Tätigkeit. Sie äußert sich in der Atmungsmechanik, in der Herztätigkeit, im Gesamtstoffwechsel, in der Blutbildung, im Eiweißansatz, in der Tätigkeit der Gefäßmuskulatur, in der stärkeren Reizung der Hautsinnesorgane und des Auges. Die letztgenannten Erregungen führen ihrer-

[1]) Pöppig, Reisen in Chile usw. Leipzig 1836.
[2]) Conway, Climbing and exploration etc. London 1884.
[3]) Jacot Guillarmod, Six mois dans l'Himalaya. Neuchatel 1905.
[4]) Sven Hedin, Durch Asiens Wüsten. Leipzig 1899.
[5]) Duceschi, Arch. di fisiol. X S. 77 (1912).
[6]) v. Schrötter, Die Bergkrankheit. Wien u. Leipzig 1899.

seits zu stärkerem Tätigkeitsdrang, also zu stärkerer Inanspruchnahme der Muskulatur.

Der Grad der Anregung ist individuell — abhängig von der Erregbarkeit des Einzelnen — verschieden und wechselt mit der jeweiligen Stärke der klimatischen Reize, die ihrerseits verschieden ist je nach der Höhenlage, nach der geographischen Lage des Höhenortes und nach lokalen Verhältnissen. Unter diesen sind wichtig die Lage nach den Himmelsrichtungen, die Lage auf freier Hochfläche oder in Einsenkungen, der Windschutz, den umgebende Berge gewähren oder der durch Wald bewirkt wird.

Es ist also nicht berechtigt, die Wirkung des Höhenklimas auf den Menschen allein nach der Höhenlage abschätzen zu wollen, vielmehr gehört im Einzelfall eine genaue Kenntnis der örtlichen Verhältnisse dazu, um den Erfolg der Klimawirkung richtig zu dosieren[1]). Aber selbst bei Berücksichtigung dieser entspricht der Erfolg zuweilen nicht den Voraussetzungen infolge der nicht stets vorauszusehenden, individuell erheblich schwankenden Empfindlichkeit gegen die Klimareize.

Die Steigerung der Funktion der lebenswichtigsten Körpersysteme bietet die physiologisch berechtigte Grundlage zur Benutzung des Höhenklimas zu Heilzwecken und läßt bestimmte Anzeigen zu seiner Verwertung aufstellen. Über diese wird an anderer Stelle dieses Handbuches gesprochen werden.

---

[1]) Vgl. dazu das S. 243 Angeführte.

Das Wüstenklima.

Von Prof. Dr. A. Loewy (Davos).

Mit 6 Abbildungen.

Einleitung.

Die physiologischen Wirkungen des Wüstenklimas sind bedingt durch seine charakteristische Beschaffenheit, d. h. durch das Verhalten der es bildenden Klimafaktoren. Zum Verständnis der ersteren ist deshalb eine Kenntnis der letzteren notwendig.

Dementsprechend soll zunächst eine Beschreibung der Eigentümlichkeiten des Wüstenklimas gegeben werden. Es wird sich zeigen, daß aus ihnen seine besonderen physiologischen Wirkungen sich leicht ableiten lassen.

Vorausgeschickt muß die Bemerkung werden, daß natürlich der Begriff „Wüstenklima" nicht etwas Starres, Festbegrenztes darstellt, daß vielmehr, wie dies ja auch bei jeder anderen Klimaart der Fall ist, seine einzelnen Elemente innerhalb gewisser Grenzen schwanken, so daß die klimatischen Besonderheiten mehr oder weniger scharf hervortreten können. Bis zu welchem Grade das geschehen kann ist unsicher, da systematische Untersuchungen über alle Faktoren des Wüstenklimas fehlen, und solche über die wichtigeren Klimaelemente nur aus Ägypten vorliegen. Vereinzelte Bestimmungen sind noch in verschiedenen Oasen der Sahara ausgeführt worden. Die folgenden Mitteilungen beziehen sich demgemäß ausschließlich auf das Klima Ägyptens. Allerdings ist es zweifellos, daß sich wenigstens die Wüstengebiete Nordafrikas (Sahara, libysche, arabische Wüste) ganz ähnlich verhalten.

Selbst für Ägypten ist das Klima innerhalb gewisser Grenzen schwankend, wie die mitgeteilten vergleichenden Werte für Unter- und Oberägypten zeigen werden, und wie es erklärlich ist, wenn in Betracht gezogen wird, daß die geographische Breitenlage und die größere oder geringere Entfernung von großen Wasserflächen (Meeren), d. h. also die mehr oder weniger ausgesprochene kontinentale Lage das Klima stark beeinflussen. Speziell finden sich in Ägypten klimatische Unterschiede schon zwischen den Orten, die dicht am Nil, und denjenigen, die nur wenige Kilometer von ihm entfernt in der Wüste selbst gelegen sind.

I. Die Natur des Wüstenklimas.

a) Lufttrockenheit.

Das das Wüstenklima in erster Linie kennzeichnende Element ist die in keinem anderen Klima ähnlich ausgesprochene Trockenheit der Luft.

Mit dieser Bezeichnung wird die niedrige relative Feuchtigkeit der Luft ausgedrückt.

Wie in Bd. I S. 461 ff. des näheren auseinandergesetzt ist, muß zwischen absoluter und relativer Feuchtigkeit der Luft unterschieden werden. Die erstere ist klimatologisch nur wenig bedeutungsvoll. Physiologisch kommt sie nur in Betracht für die Wasserabgabe von den Lungen. Die Einatmungsluft sättigt sich in den Lungen für eine Temperatur von im Mittel 34° C[1]); die Wassermenge, die für die Sättigung erforderlich ist, hängt von der absoluten Wassermenge ab, welche die Einatmungsluft führt. Je geringer letztere ist, um so mehr Wasser muß an der Lungenoberfläche verdunsten. Aber für das allgemeine Befinden und subjektive Verhalten spielt selbst die dauernde Atmung einer so gut wie gänzlich trockenen Luft keine wesentliche Rolle. Die größere oder geringere Wasserabgabe von den Lungen geht ohne irgendeine Wahrnehmung vor sich und tritt quantitativ zu sehr gegenüber der durch die Haut zurück, um durch ihren Wechsel die Vorgänge der Wärmeregelung weitgehend beeinflussen zu können.

Die absolute Feuchtigkeit zeigt sehr geringe Schwankungen während eines Tages nicht nur, sondern sie hält sich auch viele Tage, ja Wochen und Monate, die der gleichen Jahreszeit angehören, am gleichen Orte annähernd gleich. So entstehen typische Differenzen zwischen Winter, Frühling und Sommer.

Als Beispiele für den Gang der absoluten Feuchtigkeit an mehreren aufeinanderfolgenden Tagen seien einige Zahlen beigebracht, die Verfasser mit Bickel, Wohlgemuth, Schweitzer im März 1914 im ägyptischen Wüstenklima ermittelte[2]).

Tabelle 1.
Werte für den absoluten Wassergehalt der Luft.

Ort und Datum	Temperatur der Luft ° C Mittel	Prozentische Wasserdampfsättigung der Luft im Mittel	Absoluter Wasserdampfgehalt der Luft im Mittel mg Wasser pro Liter
Heluan, 17. 3.	21,93	48,53	*9,322*
18. 3.	16,81	72,07	*10,245*
19. 3.	16,50	62,54	*8,622*
20. 3.	14,28	66,77	*8,206*
21. 3.	17,23	61,57	*8,982*
Assuan, 27. 3.	27,26	11,42	*2,961*
28. 3.	27,98	6,88	*1,851*
29. 3.	29,87	15,36	*4,596*
30. 3.	26,23	16,64	*4,100*
31. 3.	24,50	19,90	*4,425*
Berlin, 22. 6.	—	56,7	*11,09*
23. 6.	—	62,0	*8,94*
24. 6.	—	73,7	*9,34*
25. 6.	—	68,0	*9,59*
26. 6.	—	68,0	*9,49*
27. 6.	—	67,3	*9,69*

Außer der Gleichmäßigkeit zeigt die Tabelle den erheblichen Unterschied zwischen den beiden Orten Heluan in Unterägypten und Assuan in Oberägypten.

---

[1]) Loewy und Gerhartz, Pflüg. Arch. Bd. 155 (1913).

[2]) Vorläufig gekürzt mitgeteilt von A. Loewy, Über den Stoffwechsel im Wüstenklima. Veröffentl. d. Zentralst. f. Balneol. III (1915) (auch Zschr. f. Balneol. usw. IX 1916).

Sie zeigt weiter, daß die an ersterem Orte gefundenen Werte der absoluten Wassermenge mit den in Berlin im Juni 1914 gefundenen nahezu übereinstimmen.

Ihre Bedeutung in klimatologischer Hinsicht erhalten die Werte für den Wassergehalt der Luft aber erst, wenn man nicht die absoluten Zahlen in Betracht zieht, vielmehr die für die relative Sättigung ins Auge faßt. Diese sind es, die für diejenigen physiologischen Vorgänge, für die der Wassergehalt der Luft Bedeutung hat, nämlich für die wärmeregulierenden, die ausschlaggebende Rolle spielen

Für das Wüstenklima Ägyptens bringt Tabelle 2 eine Zusammenstellung, die Determann[1]) nach den Beobachtungen des englischen meteorologischen Institutes (Reports of the Survey department) entworfen hat. Sie erstreckt sich nur über einen verhältnismäßig kurzen Zeitraum und gibt die Monatsmittel der relativen Feuchtigkeit in Prozenten der vollen Sättigung für die ärztlich in Betracht kommenden fünf Wintermonate. Verzeichnet sind zwei Orte Unterägyptens (Kairo, Heluan) und einer Oberägyptens (Assuan).

Tabelle 2.

Relative Feuchtigkeit der Luft in Prozenten.

	Kairo 1902—1910	Heluan 1908—1910	Assuan 1901—1910
November	77,88	57,00	44,84
Dezember	81,11	58,00	49,58
Januar	80,28	58,00	51,40
Februar	72,16	50,00	43,89
März	68,20	46,00	39,62

Noch instruktiver ist die Tabelle 3, die einem Werke von Engel-Bey[2]) entnommen ist.

Tabelle 3.

Tabelle der mittleren Temperatur (Celsiusgrade), relativer Feuchtigkeit (Prozent), Regenmenge (mm Höhe), Regentage. Nach langjährigen Mitteln. (Aus Fr. Engel-Bey.)

Ort	November			Dezember			Januar			Februar			März		
	Mittlere Temperatur C°	Relative Feuchtigkeit %	Regenmenge mm (Zahl der Regentage)	Mittlere Temperatur C°	Relative Feuchtigkeit %	Regenmenge mm (Zahl der Regentage)	Mittlere Temperatur C°	Relative Feuchtigkeit %	Regenmenge mm (Zahl der Regentage)	Mittlere Temperatur C°	Relative Feuchtigkeit %	Regenmenge mm (Zahl der Regentage)	Mittlere Temperatur C°	Relative Feuchtigkeit %	Regenmenge mm (Zahl der Regentage)
Berlin	3,9	83	45 (14)	0,8	85	48 (15,5)	—0,6	85	38 (14)	0,8	81	38 (13)	3,6	76	43 (14,5)
Wien	3,9	80	43 (13)	—0,3	83	—	—1,7	80	35 (13)	0,1	71	36 (11)	4,3	63	43 (13)
Genua	11,7	60	192 (13)	8,6	59	119 (11)	7,5	59	103 (11)	9,0	59	108 (9)	10,8	60	95 (11)
Davos	—1,7	82	60 (10)	—6,3	85	63 (2)	—7,8	83	42 (9)	5,1	80	51 (8)	—2,7	79	54 (0)
Abbazia	14,1	—	112,7	11,7	—	85	4,4	78	117 (8)	5,2	76	103 (8)	8,0	79	159 (10)
Palermo	15,2	72	94,5 (12)	12,1	73	88 (15)	10,3	74	103 (16)	11,3	72	61 (12)	12,8	67	68 (10)
Algier	15,8	68	116	12 6	73	141	12,1	73	113	12,6	72	109 (13)	13,9	69	82
Kairo	18,1	69,4	4,6 (3)	14,3	70,6	8 (6)	12,4	68,4	6 (6)	12,8	62,7	5 (5)	16,4	58,5	4 (3)
Heluan	18,8	56	2 (4)	15,0	63	3 (6)	13,0	58	7,5 (2,5)	14,6	55	14 (5,5)	17,4	49,5	1 (2)
Luxor	20,0	59	—	16,5	59	—	15,5	63	2 mal im Winter Tropfen	16,8	55	0	22,0	42	0
Assuan	22,5	48	—	18,3	55	—	15.5	56	1 mal im Winter Tropfen	17.2	47	0	22,0	47	0

[1]) H. Determann, Über das Wüstenklima. Zschr. f. physik. diät. Ther. XVIII (1914).
[2]) Fr. Engel-Bey, Das Wüstenklima Ägyptens. Berlin 1903.

Sie enthält gleichfalls die relative Feuchtigkeit für die fünf Wintermonate im Monatsmittel an vier Orten Ägyptens und zum Vergleich die entsprechenden Werte einer Reihe anderer Städte. Beide Tabellen zeigen deutlich, wie erheblich die relative Feuchtigkeit niedriger liegt als die aller anderen Orte, ausgenommen Genua. Sie zeigen aber auch, daß zwischen den ägyptischen Orten selbst, besonders zwischen dem in Nordägypten am Nil gelegenen Kairo einerseits und dem in der Wüste etwa 30 km von Kairo gelegenen Heluan bzw. den in Oberägypten gelegenen Luxor und Assuan andererseits nicht unbeträchtliche Unterschiede vorhanden sind.

Das trockenste Klima weist Assuan auf, was sich einerseits aus seiner südlichsten Lage (24° 2′ nördl. Breite, 670 km südlich von Kairo) und damit den höchsten Lufttemperaturen, andererseits aus der Kahlheit des wüstenartigen Bodens, auf dem es steht, erklärt.

Dabei sind die für Assuan verzeichneten Feuchtigkeitswerte bei weitem nicht die niedrigsten, die in Oberägyten festgestellt werden können. Anläßlich einer der Erforschung der Klimawirkungen gewidmeten Expedition konnte Verfasser in Gemeinschaft mit Bickel, Wohlgemuth, Schweitzer in einem wenige Kilometer

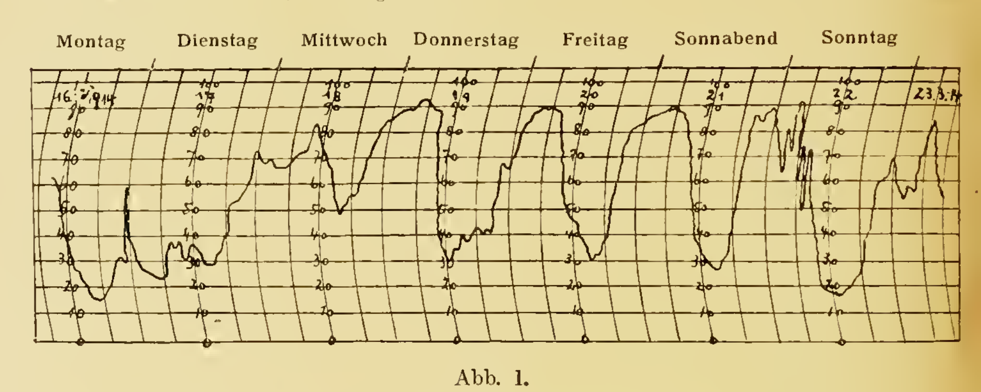


Abb. 1.

Täglicher Gang der relativen Feuchtigkeit der Luft in Heluan. März 1914.

östlich von Assuan in der Wüste gelegenen Lager (Bab el Wadi) im März 1914 Tagesmittel gewinnen, die am 27. März 11,42%, am 28. März 6,88%, am 29. März 15,36% betrugen.

Aber Mittelwerte geben noch keine Vorstellung über die klimatische Bedeutsamkeit der relativen Feuchtigkeit der Luft. Am wenigsten die Monatsmittel. Selbst die Tagesmittel vermögen noch nicht genügend über ihr Verhalten zu orientieren, denn die relative Luftfeuchtigkeit zeigt sehr erhebliche tägliche Schwankungen, Diese Schwankungen sind ganz regelmäßig derart, daß die relative Feuchtigkeit nachts am größten ist, vom Sonnenaufgang an zu sinken beginnt, um Mittag (zwischen 12 und 3 Uhr) ihren tiefsten Stand erreicht, um dann wieder anzusteigen. Dieser Verlauf der Feuchtigkeitsschwankung findet sich in jedem Klima. Im Wüstenklima ist er aber besonders ausgeprägt.

Nach Engel beträgt die relative Feuchtigkeit im November und Dezember für Kairo im Monatsmittel um 9 Uhr früh und 9 Uhr abends 70%, mittags nur noch 50%; im März um 3 Uhr mittags nur 35% gegenüber 58,5° im Tagesmittel, im April nur 29%.

Am besten orientieren über den Umfang dieser Schwankungen fortlaufende hydrographische Aufzeichnungen. Die Kurven 1 und 2 geben zunächst den Ver-

lauf der relativen Feuchtigkeit an einzelnen Tagen, nach den Bestimmungen, die Bickel, Wohlgemuth und der Verfasser aufgenommen haben.

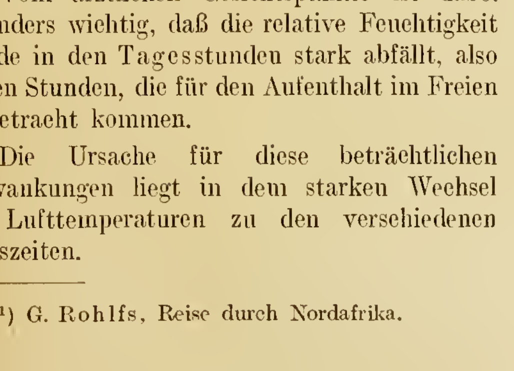
Die Kurve Nr. 3 gibt, nach Determann, die täglichen Schwankungen der Luftfeuchtigkeit im Monatsmittel für die drei eigentlichen Wintermonate.

Endlich die Kurve Nr. 4 die Schwankungen, die die Luftfeuchtigkeit zwischen den verschiedenen Tagesstunden zeigt im Jahresmittel für Heluan (nach Determann).

Die Kurven lassen als auffälligstes Merkmal erkennen die Gleichmäßigkeit, mit der die Differenzen, die die relative Luftfeuchtigkeit innerhalb der 24stündigen Periode aufweist, zur Ausbildung kommen. Sie spiegelt sich nicht nur in den Kurven (1 und 2) wieder, die die Schwankungen der einzelnen Tage aufweisen, vielmehr ebenso deutlich in den für die Monats- und Jahresmittel. Sie sind in Heluan weit erheblicher als in Assuan. An ersterem Orte betragen sie an einer Reihe aufeinanderfolgender Tage 60% (90—30%). Dies erklärt sich aus dem erheblichen Ansteigen der relativen Feuchtigkeit zur Nachtzeit. In Assuan bleibt dagegen auch in den Nachtstunden die Luft trocken. Aber nicht nur die Maxima der Feuchtigkeit liegen hier tiefer, auch die Minima sinken fast zu absoluter Trockenheit hinab.

Ähnlich niedrige Werte hat übrigens auch Rohlfs[1]) in einem anderen Teile des nordafrikanischen Wüstengebietes, in Hauari, beobachtet; um 3 Uhr nachmittags im August 3% relative Feuchtigkeit. Auch im südwestafrikanischen Hochlande ist gelegentlich eine relative Feuchtigkeit von 5% festgestellt worden.

Vom ärztlichen Gesichtspunkte ist dabei besonders wichtig, daß die relative Feuchtigkeit gerade in den Tagesstunden stark abfällt, also in den Stunden, die für den Aufenthalt im Freien in Betracht kommen.



Die Ursache für diese beträchtlichen Schwankungen liegt in dem starken Wechsel der Lufttemperaturen zu den verschiedenen Tageszeiten.

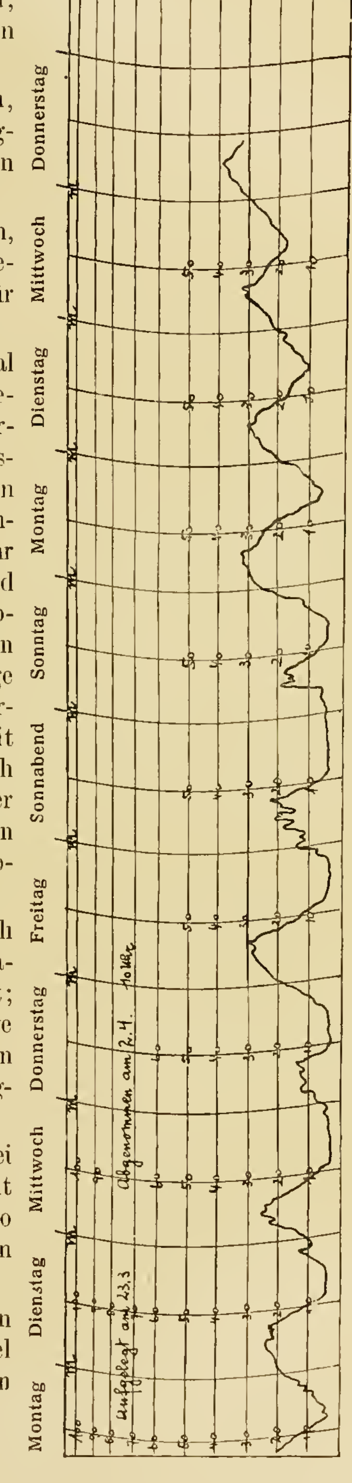


Abb. 2. Täglicher Gang der relativen Feuchtigkeit der Luft in Assuan. März 1914.

[1]) G. Rohlfs, Reise durch Nordafrika.

b) Das Verhalten der Lufttemperatur im Wüstenklima.

Tabelle 3 enthält für vier Orte Ägyptens die Monatsmittel der ärztlich in Frage kommenden fünf Wintermonate. Sie zeigt, daß es sich um nach unseren Begriffen sommerliche Wärmegrade handelt, die noch erheblich die des nach der Tabelle wärmsten Ortes Europas, nämlich Palermos, übertreffen. Weiter zeigt sich, daß die Mitteltemperaturen der einzelnen Monate nicht weit auseinanderliegen.

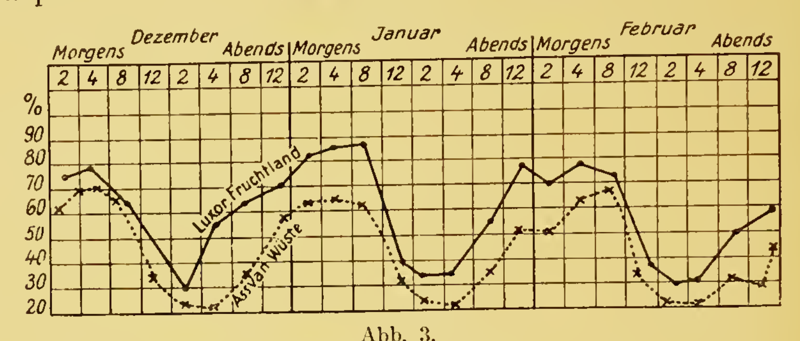


Abb. 3.

Gang der täglichen Feuchtigkeit im Monatsmittel. (Nach Determann.)

Aber wie für die Feuchtigkeitsverhältnisse ist auch hier die Kenntnis der Temperaturschwankungen der Luft wichtiger als die des Mittels.

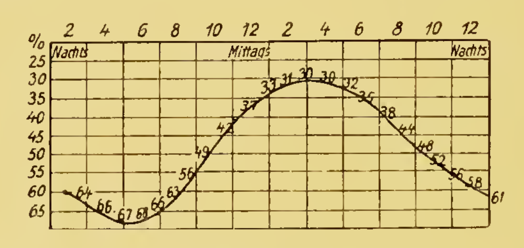


Abb. 4.

Gang der täglichen Feuchtigkeit im Jahresmittel für Heluan. (Nach Determann.)

Die Temperaturschwankungen, d. h. der Abstand der Temperaturmaxima von den Temperaturminima, sind nun sehr erheblich; sie übertreffen weit die unter unseren klimatischen Verhältnissen vorkommenden.

Nach Angaben Engel-Beys ergeben sich folgende Werte im Mittel für die einzelnen Wintermonate.

Tabelle 4.

Mittlere Monats-Maximal- und Minimaltemperaturen.

Monat	Kairo			Heluan			Assuan			Wadi Halfa		
	Mittlere Max.-Temp. °C	Mittlere Min.-Temp. °C	Differenz °C	Mittlere Max.-Temp. °C	Mittlere Min.-Temp. °C	Differenz °C	Mittlere Max.-Temp. °C	Mittlere Min.-Temp. °C	Differenz °C	Mittlere Max.-Temp. °C	Mittlere Min.-Temp. °C	Differenz °C
November	24,4	12,4	*12,0*	24,5	13,6	*10,9*	30,0	14,6	*15,6*	29,0	15,3	*13,7*
Dezember	20,3	9,0	*11,3*	20,6	9,5	*11,1*	25,3	11,1	*14,2*	25,2	10,2	*15,0*
Januar	18,6	7,1	*11,5*	19,1	8,1	*11,0*	23,2	7,4	*15,8*	23,9	8,9	*15,0*
Februar	20,9	8,4	*12,5*	21,4	9,0	*12,4*	25,7	10,1	*15,6*	26,0	10,4	*15,6*
März	24,1	10,0	*14,1*	24,9	11,0	*13,9*	31,1	14,6	*16,5*	31,8	13,8	*18,0*

Die Temperaturamplitude liegt demnach für Unterägypten zwischen 11 und 14°, für Oberägypten und Nubien (Wadi Halfa) zwischen 13,7° und 18°.

Im Gegensatz zu diesen Werten beträgt der Unterschied zwischen den mittleren monatlichen Maxima und Minima der Temperatur in den Wintermonaten in Berlin nur 4,4—5,5°, in Frankfurt a. M. nur 4,4—5,9° pro Tag.

Man könnte in den starken Tagesdifferenzen der Temperatur ein hygienisch ungünstiges Moment erblicken, jedoch ist zu berücksichtigen, daß diese in trockenen Klimaten weit besser ertragen werden als in feuchteren.

Weit erheblicher noch als die mittleren sind die sog. absoluten Maxima und Minima, d. h. diejenigen, die im Laufe der einzelnen Monate des Jahres einmal zur Beobachtung kamen, mit denen man also unter Umständen rechnen muß. Nach Determann betrugen sie im Mittel einer Reihe von 6—9 Jahren:

Tabelle 5.
Mittlere absolute Temperaturmaxima und -minima.

	Kairo (1902—1910)		Heluan (1904—1910)		Assuan (1901—1910)	
	absol. Max.	absol. Min.	absol. Max.	absol. Min.	absol. Max.	absol. Min.
November	30,20	7,81	30,0	9,2	36,32	10,05
Dezember	24,75	4,28	24,5	5,0	31,65	7,15
Januar	24,30	1,85	25,7	2,9	30,44	5,04
Februar	27,62	2,95	27,3	4,7	33,31	7,10
März	31,33	3,43	31,3	5,9	39,18	9,27

Die absoluten Maxima und Minima können danach über die mittleren um 6—7° C hinausgehen. Besonders wichtig ist das für die Minima in ärztlich-klimatologischer Hinsicht. Sie können fast den Gefrierpunkt in Kairo und Heluan erreichen. Nur in Assuan bleiben sie etwas höher. Man muß auf solche niedrigen Temperaturen Rücksicht nehmen bei der Wahl der Bekleidung.

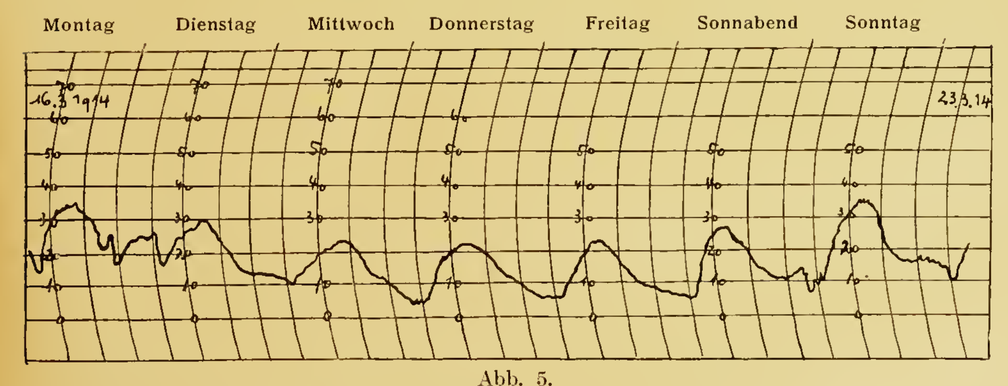


Abb. 5.
Täglicher Verlauf der Lufttemperatur. Heluan. März 1914.

Wichtig für die Beurteilung der Temperaturschwankungen ist weiter die Verteilung der verschiedenen Wärmegrade über die 24stündige Periode. Hier ist nun klimatisch günstig, daß mit Sonnenaufgang die Lufttemperatur schnell zu steigen beginnt, ihr Maximum gegen 2—3 Uhr erreicht und erst gegen Sonnenuntergang erheblich zu sinken anfängt, d. h. bis auf Grade, die den Aufenthalt im Freien

als unbehaglich empfinden lassen. Nachts allerdings tritt dann durch die starke Wärmeausstrahlung ein schnelles weiteres Sinken ein, das gegen Morgen sein Minimum findet. Das Sinken der Temperatur zur Nachtzeit hat seine Vorteile; denn es kommt infolgedessen nicht zu einer ununterbrochenen übermäßigen Wärmezufuhr, der Körper kann sich zur Nachtzeit abkühlen und der nächtliche Schlaf wird nicht durch hohe Wärmegrade beeinträchtigt.

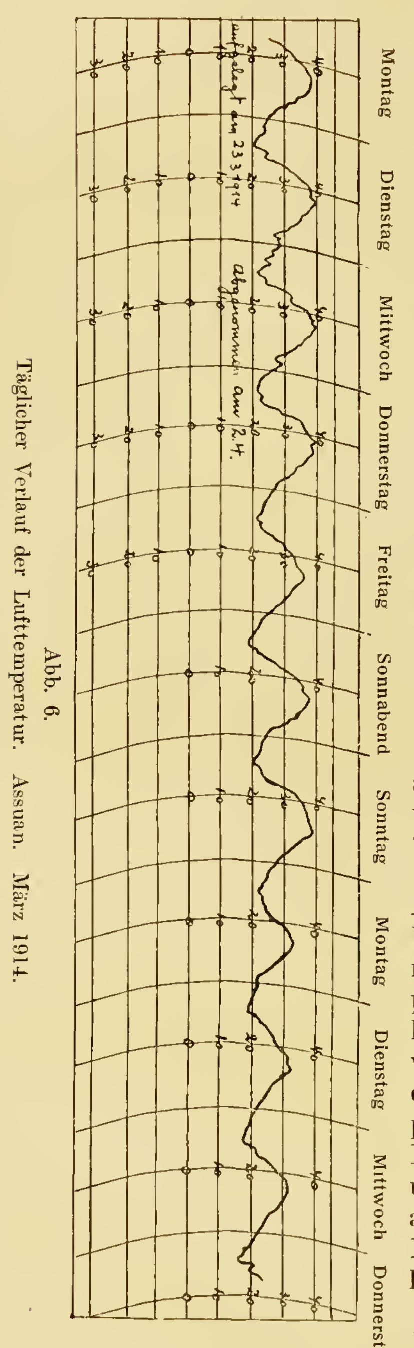


Abb. 6.
Täglicher Verlauf der Lufttemperatur. Assuan. März 1914.

Als Beispiele seien die Kurven 5 und 6 wiedergegeben.

Sie zeigen die absolute Gleichmäßigkeit der Tagesstunden, zu denen die Maxima und Minima der Temperaturen auftreten, ferner die sehr erheblichen Differenzen zwischen den höchsten und niedrigsten Temperaturen, insbesondere die tiefe Lage der Nachttemperaturen und die verhältnismäßig geringen Unterschiede, die diese von Tag zu Tag in Assuan aufweisen. Die Temperaturschwankungen betragen hier 17—20° C. Für Heluan sind sie noch erheblicher: 17—28°.

Die Kurven zeigen weiter, was auch anderweite, über längere Zeiträume sich erstreckende Beobachtungen bestätigen, daß der abendliche Temperaturabfall nicht plötzlich erfolgt.

Beachtenswert sind weiter die sog. interdiurnen Veränderungen der Temperatur, d. h. die von Tag zu Tag sich findenden Wärmeunterschiede. Sind sie erheblich, so ist dies hygienisch von ungünstiger Bedeutung. Über sie orientiert Tabelle 6.

Danach sind die mittleren interdiurnen Änderungen der Temperatur in den eigentlichen Wintermonaten gering, um erst im März zuzunehmen. Aber diese Mittelwerte geben für die physiologische bzw. hygienische Betrachtung keinen genügenden Einblick. Für diese erheblich wichtiger wäre die Kenntnis der Häufigkeit und des Umfanges der Veränderungen der Temperaturmittel von einem Tag zum anderen. Häufige und große „Temperatursprünge" werden unangenehm empfunden, stellen große Ansprüche an die Wärmeregelungseinrichtungen unseres Körpers und werden als Ursachen von Erkältungskrankheiten angesehen.

Hierüber liegen Mitteilungen von Engel-Bey[1]) für das Klima von Kairo vor auf Grund zehnjähriger Beobachtungen. Sie zeigen, daß gerade in den Wintermonaten die

[1]) Engel-Bey, a. a. O.

Tabelle 6.
Mittlere Veränderlichkeit der Temperatur von einem Tage zum anderen. ° C.

Ort	November	Dezember	Januar	Februar	März
Berlin	1,6	1,9	1,8	1,8	1,5
Wien	1,8	2,4	2,2	1,9	2,1
Mailand	1,2	1,6	1,3	1,3	1,2
Neapel	1,1	1,2	0,9	0,9	0,9
Kairo	—	1,0	1,15	1,45	2,0
Heluan	1,0	1,0	1.2	1,5	1,8

Temperaturschwankungen, insbesondere auch die Temperaturabfälle, von Tag zu Tag sich in engen Grenzen halten.

Für den Dezember gibt Engel an: 17,4 Tage mit Temperaturabfällen, 13,6 Tage mit Temperaturanstiegen. Die Differenz der täglichen Temperaturen nach beiden Richtungen beträgt im Mittel 1° C. Dabei beträgt der beobachtete Temperaturabfall zwischen zwei aufeinanderfolgenden Tagen an 9 Tagen weniger als 1° C, an 6 Tagen bis zu 2° C, an nur 2 Tagen mehr als 2° (bis 5°) C.

Im Januar finden sich 15 Tage mit Temperaturabfall gegenüber dem vorangehenden; 15,8 mit Anstieg. Im Mittel beträgt der Abfall 1,2°, der Anstieg 1,1°. — Im Februar kommen auf 13,7 Tage mit Temperaturabfall 14,3 mit Anstieg. Ersterer beträgt im Mittel 1,4° C, letzterer 1,6° C. Dabei bleibt der Temperaturabfall an 9 Tagen (unter 14) unter 1° C.

Im März und April ändert sich dies Verhalten dahin, daß die Anzahl der Tage mit Temperaturabfällen weiter abnimmt, dagegen der Umfang des Abfalles erheblich steigt. Im März machte die Temperaturabnahme nur an 5 Tagen unter 14 weniger als 1° C aus, im April nur an 3½ von 12½. Die überwiegende Zahl der Temperaturabfälle übertrifft also 1° C. — Im April betrugen sie 2,6mal im Jahre mehr als 4° C, je einmal in 10 Jahren mehr als 8°, 9° und 10° C.

Vom Dezember zum Februar nimmt also die Anzahl der Tage mit Temperaturabfällen allmählich ab, der Grad des Abfalls nimmt etwas zu, aber in der Mehrzahl der Fälle beträgt er weniger als 1° C. Erst im März und mehr noch im April kommt es zu größeren Temperaturstürzen, zu Kälteumschlägen, die Engel mit unseren „Eisheiligen" im Mai vergleicht.

Viel erheblicher als nach den vorstehenden Werten dem Wüstenklima eigentümlich ist, sind mittlere Häufigkeit und Größe der Temperaturschwankungen von Tag zu Tag in anderen Klimaten. Beispiele hierfür finden sich nach Hanns[1]) Angaben bei Alt in Bd. I S. 458 dieses Werkes und bei Rubner[2]).

c) Die Strahlung.

Neben der bisher allein besprochenen Lufttemperatur kommt für unser Temperaturgefühl, für unsere Wärmeempfindung sehr wesentlich, zuweilen ausschlaggebend, die strahlende Wärme in Betracht, die ihrerseits sich aus der direkten Strahlung (Sonnen- und diffuse Himmelsstrahlung) und aus der von erwärmten irdischen Gegenständen, insbesondere vom Erdboden, ausgehenden zusammensetzt. Die Summe der Wirkung der Lufttemperatur und der strahlenden Wärme

---

[1]) J. Hann, Handbuch d. Klimatologie Bd. I S. 30—31. 3. Aufl. Stuttgart 1908.
[2]) M. Rubner, Klimatotherapie in: Handb. d. physikal. Ther. I. S. 41—42. Leipzig 1901.

ergibt das, was als „klimatische Temperatur" bezeichnet wird (Näheres bei Alt in Bd. I S. 448 dieses Werkes; auch Kapitel „Allgemeine Klimatophysiologie" S. 52).

Mittels der modernen Methoden zur Messung der Sonnen- und Himmelsstrahlung, wie sie sich bei Dorno in Bd. I S. 504 dieses Werkes zusammengestellt finden, sind Untersuchungen im Wüstenklima noch nicht ausgeführt worden. Nur vereinzelte photochemische Messungen sind vorgenommen worden und daneben in größerer Zahl solche der Gesamtstrahlung mit dem Schwarzkugelthermometer.

Das Wüstenklima ist durch eine sehr hohe Gesamtenergie der Sonnenstrahlung ausgezeichnet. Sie rührt wohl (nach Dorno) von einer besonderen Stärke des Ultrarots her, da dieses durch den geringen Wasserdampfgehalt der Luft nur wenig geschwächt wird.

Die Strahlungssummen, die der Erde in Ägypten bzw. in der arabischen und libyschen Wüste sowie in den übrigen nordafrikanischen Wüstengebieten zufließen, werden noch dadurch besonders erhöht, daß die Sonne zu einem hohen Stande aufsteigt und daß die wirkliche Sonnenscheindauer sehr beträchtlich ist.

Die Temperaturwerte des Schwarzkugelthermometers geben in Vergleich gestellt mit den eines gewöhnlichen im Schatten befindlichen Luftthermometers unter Einhaltung der nötigen Vorsichtsmaßnahmen (vgl. Bd. I S. 448) ein relatives Maß für die Stärke der Gesamtstrahlung, ausgedrückt in Wärmewerten.

Über derartige Bestimmungen berichtet Engel-Bey für Kairo nach 5jährigen Mitteln.

Tabelle 7.
Messungen mit dem Schwarzkugelthermometer.

Monat	Tagesstunde		
	9 Uhr früh °C	12 Uhr mittags °C	3 Uhr nachmitt. °C
Dezember	31,8	41,2	37,9
Januar	29,3	39,9	36,4
Februar	33,4	44,4	42,2
März	39,5	47,1	45,2

Die mittleren Lufttemperaturen betragen dabei für den Dezember 14,3° C, für den Januar 12,4°, für den Februar 12,8°, für den März 16,4°. Die mittleren Maximaltemperaturen der Luft für den Dezember 20,3°, für den Januar 18,6°, für den Februar 20,9°, für den März 24,1°.

In eigenen Beobachtungen fanden sich folgende Werte:

Tabelle 8.
Temperaturen, gemessen mit Solar- und mit Luftthermometer im Schatten.

Ort	Zeit Tag u. Stunde	Temperatur		Temperaturdifferenz °C
		Solartherm. °C	Luftthern. °C	
Heluan	14. 3. 14, 10½ Uhr	52,0	36,2	15,8
,,	14. 3. 14, 11 ,,	55,5	38,5	17,0
,,	18. 3. 14, 2¾ ,,	56,0	33,0	23,0
Assuan	26. 3. 14, 2 ,,	63,5	38,5	25,0
,,	28. 3. 14, 2 ,,	63,2	36,5	26,7
,,	30. 3. 14, 12½ ,,	60,0	31,2	28,8
,,	31. 3. 14, 12¼ ,,	59,5	29,2	30,3

Die gefundenen Unterschiede zwischen den Angaben des Solar- und des gewöhnlichen Thermometers sind demnach sehr erheblich. In unseren Breiten betragen sie im Tieflande nur wenige Grade, und nur im Hochgebirge sind sie ähnlich groß oder noch größer (vgl. Kapitel „Höhenklima“ S. 2[illegible]5). Die absoluten Werte, zu denen das Solarthermometer ansteigt, werden aber in den europäischen Hochgebirgen selten erreicht.

Das bedeutet aber, daß der durch die Strahlung den irdischen Gegenständen und auch dem Menschen zugeführten Wärme eine beträchtliche Bedeutung zukommt. Wenn man mit Rubner und Cramer[1]) annehmen würde, — was, wie im Kapitel „Allgemeine Klimatophysiologie“ (S. 32) auseinandergesetzt, nicht ohne weiteres zulässig ist, — daß die Sonnenstrahlung derart wirkt, wie wenn die Lufttemperatur um die Hälfte der Temperaturdifferenz des Solar- und des gewöhnlichen Thermometers gesteigert wäre, so würde die „klimatische Temperatur“ betragen nach den Werten von Tabelle 8:

in Heluan: 44,1°—47,0°—44,5°,
in Assuan: 51,0°—49,0°—45,6°—44,2°

Daß derartige Temperaturen erträglich sind, ja nicht unangenehm empfunden werden, erklärt sich aus der enormen Trockenheit der Luft, die ihrerseits wieder die Ursache der gewaltigen bis zum Erdkörper dringenden Sonnenstrahlung ist.

Neben der direkten Wärmestrahlung durch die Sonne spielt auch die durch terrestrische Dinge — besonders durch den Erdboden — eine Rolle, die um so bedeutsamer ist, je mehr dieser sich selbst durch die Sonnenstrahlung zu erwärmen vermag. Das ist nun bei dem trockenen, kahlen Wüstenboden in besonderem Maße der Fall, und wird sich noch intensiver geltend machen, wenn es sich um gebirgige Wüsten handelt, in denen die Wärme auch von den Felsen- oder Sandwänden der Bodenerhebungen zurückgestrahlt wird.

Die Wärmestrahlung vom Boden bildet einen wertvollen Regulator der Lufttemperatur kurz nach Sonnenuntergang und verhindert ihr plötzliches starkes Sinken. Allerdings hält diese Wirkung nicht lange vor, da bei der Trockenheit der Luft die terrestrische Wärmeausstrahlung sehr erheblich ist und der Boden sich schnell abkühlt.

Genauere Untersuchungen über den Umfang der Wärmeausstrahlung des Bodens liegen für das Wüstenklima nicht vor. Nur Pecnik[2]) gibt einige Werte an. So fand er um 2 Uhr nachmittags für die Temperatur der Luft 30,2°, für die des Bodens 61,0°; Differenz also +30,8°.

Dieser starken Einstrahlung steht eine intensive nächtliche Ausstrahlung gegenüber, so daß der Boden dann erheblich niedrigere Temperaturen zeigt, als die ihn überlagernde Luft. Um 5 Uhr früh fand Pecnik eine Luftwärme von +12,7°, eine Bodenwärme von +8,1°; Differenz —4,6°. — Die nächtliche Wärmeausstrahlung kann so weit gehen, daß bei +5 bis 6° Lufttemperatur schon Reifbildung am Erdboden eintritt.

Auch die Helligkeits- und die chemische Strahlung sind mit den neueren photochemischen bzw. spektrophotometrischen Methoden (vgl. Bd. I: Dorno, Die Sonnenstrahlung) nicht genauer erforscht.

Die Helligkeit ist dem subjektiven Gefühl nach sehr erheblich.

---

[1]) M. Rubner und Cramer, Arch. f. Hyg. 20 (1894).

[2]) Carl Pecnik, Klimatische Wüstenkuren. Kairo 1899.

Unser Sehorgan wird durch die intensive, von Sonne und Himmel ausgehende Lichtfülle derart erregt, daß zunächst ein Gefühl der Blendung eintritt. Erst allmählich gewöhnt man sich an sie. Dabei ist die subjektive Empfindung die, daß neben der Sonnenstrahlung die Atmosphäre selbst sich durch auffallende Helligkeit auszeichnet, gewissermaßen in diffuser Helle leuchtet. Selbst bei Vollmondschein macht sich diese diffuse Helligkeit geltend, so daß man dabei bequem zu lesen imstande sein soll (Pecnik).

Aber die subjektive Empfindung ist kein zuverlässiger Maßstab für den objektiven Wert der Strahlungsenergie.

Über ihr Verhalten im Wüstenklima Nordafrikas suchte man einen Anhalt zu gewinnen durch eine Berechnung der relativen Intensitäten der chemischen Lichtstrahlung, die auf Versuchen von Bunsen und Roscoe — ausgeführt mit deren Chlorwasserstoff-Aktinometer (vgl. Bd. I S. 527) — fußt.

Tabelle 9[1]) enthält diese Werte für eine Reihe von Orten verschiedenster geographischer Breitenlage. Die Zahlen geben die relativen chemischen Lichteinheiten an, die am Tage des Frühlingsäquinoktiums eine horizontale Fläche während des ganzen Tages von Sonne und Himmel erhält.

Tabelle 9.

Ort	Geographische Breite	Sonne	Himmel	Total	Verhältnis Sonne : Himmel
Pol	90°	0	20	20	—
Reykiavig	64,1	60	150	210	0,40
Petersburg	59,9	89	164	253	0,54
Heidelberg	49,4	182	191	373	0,95
Neapel	40,9	266	206	472	1,29
Kairo	30,0	*364*	*217*	*581*	1,68
Ceylon	10,0	475	224	700	2,12
Äquator	0,0	489	225	714	2,17

Die Zahlen der Tabelle zeigen, welch hohe Bedeutung der chemischen Sonnenstrahlung in Nordafrika zukommt.

Direkte Messungen der Intensität der Helligkeits- und chemischen Strahlung sind in nordafrikanischen Wüstengebieten von mehreren Seiten vorgenommen worden: von Wiesner, Strakosch, Rübel. Alle bedienten sich einer von Wiesner nach dem Vorgange von Bunsen und Roscoe ausgebildeten photographischen Methode[2]). Dabei wurde zugleich versucht das Verhältnis von direkter Sonnenstrahlung zu diffuser Himmelsstrahlung zu ermitteln, indem einerseits die Wirkung des gesamten Tageslichtes, andererseits die des Himmelslichtes unter Ausschaltung der Sonnenstrahlung bestimmt wurde.

Es fand sich als gesichertes Ergebnis, daß entgegen den Erwartungen die Intensität der gesamten Lichtstrahlung auffallend gering war.

Das stellte Wiesner für Kairo fest. Das gleiche Strakosch[3]), aus dessen Bestimmungen weiter hervorgeht, daß die Intensität der Gesamthelligkeit je weiter nach Süden um so mehr abnimmt. Sie war in Luxor geringer als in Kairo, noch geringer in Assuan und noch mehr in Khartum bei stets gleichen Sonnenhöhen, wolkenlosem Himmel und freier Sonnenscheibe.

---

[1]) Verkürzt nach Hann, Lehrb. d. Klimatologie I S. 113. 3. Aufl. Stuttgart 1911.

[2]) J. Wiesner, Der Lichtgenuß der Pflanzen. Leipzig 1907.

[3]) Strakosch, Wien. akad. Sitzungsber. Mathem.-naturwissensch. Klasse Bd. 117 Abt. I (1908).

Gleiches, d. h. auffallend geringe Gesamthelligkeit, fand Rübel für Algier und Marokko.

Die geringe Intensität der Gesamthelligkeit, die Wiesner z. B. für Kairo geringer als für Wien ermittelte, kann als charakteristisch für das Wüstenklima gelten. Man nimmt im allgemeinen an, daß dieses Verhalten seine Erklärung durch den Gehalt der Wüstenluft an Staub bzw. Sandteilchen findet. Nach Regen, durch den in der Luft suspendierte Teilchen niedergerissen werden, nimmt die Helligkeitsstrahlung erheblich zu.

Demgegenüber hebt Strakosch hervor, daß der Gehalt der Luft an festen Teilchen nicht ausschlaggebend sein könne für den niedrigen Grad der Gesamthelligkeit, weil diese um so mehr abnimmt, je näher zum Äquator die Untersuchung stattfindet. Das zeigen seine oben erwähnten Ergebnisse, wobei zu beachten ist, daß in Kartum Niederschlagsmengen und Regenhäufigkeit größer sind als in Ägypten. Nach Strakosch soll es sich um eine Lichtdämpfung durch die mächtigere atmosphärische Hülle handeln, die die Erde in Äquatornähe umgibt. Jedoch beruht diese Anschauung nur auf einer von Laplace stammenden Annahme, nach der die Atmosphäre eine linsenförmige Gestalt haben sollte, der gegenüber kürzlich Bjerknes berechnet hat, daß in den höchsten Atmosphärenschichten die Isobaren kegelförmig verlaufen müssen[1]).

Eine andere Frage ist die nach dem Verhältnis von Sonnenstrahlung zu diffuser Himmelsstrahlung im Wüstenklima.

Wiesner hatte für Kairo angegeben, daß zwar die Gesamtstrahlung über Erwarten gering, der Anteil aber, den die diffuse Strahlung in ihr im Verhältnis zur direkten Sonnenstrahlung einnehme, unverhältnismäßig hoch sei. Das gleiche, relativ hohe diffuse Helligkeit, fanden nach der Wiesnerschen Methode auch Strakosch und Rübel, letzterer im westlichen Nordafrika. — Indessen spielt hierbei nach Rübels Untersuchungen, der diese Beziehungen am eingehendsten untersucht hat, der Sonnenstand eine wesentliche Rolle. Nur bei niedrigem Sonnenstand ist die diffuse Helligkeit verhältnismäßig hoch, bei hohem jedoch nicht. Das erklärt sich nach Dorno aus dem Vorhandensein einer mäßig hochreichenden Schicht von Sandstaub in der Atmosphäre. Diese wird bei niedrigem Sonnenstande und damit sehr schräger Durchstrahlung hell wird im Verhältnis zur direkten Sonnenstrahlung, und zwar dadurch, daß letztere bei niedrigem Sonnenstande geschwächt ist. die diffuse Strahlung relativ zunimmt.

d) Sonnenscheindauer.

Für die klimatische Bewertung der Strahlungswirkung kommt neben der Intensität der Sonnenstrahlung ihre Dauer wesentlich in Betracht.

In dieser Beziehung kommt den dem Äquator näherliegenden Wüsten ein erheblicher Vorzug zu, indem die mögliche Sonnenscheindauer größer ist als an Orten höherer geographischer Breitenlage. Daneben aber ist auch das Verhältnis von effektiver Sonnenscheindauer zur möglichen im Wüstenklima besonders günstig, so daß ein doppelter Vorteil für die Besonnungsdauer erwächst.

Die folgenden Tabellen geben die im ägyptischem Wüstenklima beobachteten Werte im Vergleich mit den einiger anderer Städte.

Tabelle 10 enthält die möglichen Sonnenscheinstunden im Monat, ferner die wirklichen, d. h. die durch statistische Beobachtungen festgestellten, endlich das prozentige Verhältnis, in dem die beobachteten zu den möglichen stehen, für verschiedene europäische und Wüstenorte.

---

[1]) Letztere Angabe entstammt einer Mitteilung von Dorno an den Verfasser.

Tabelle 10.

Monatliche Sonnenscheindauer.

Monat	Berlin Sonnenscheinstdn.			Lugano Sonnenscheinstdn.			Palermo Sonnenscheinstdn.			Davos [1]) Sonnenscheinstdn.			Kairo [1]) Sonnenscheinstdn.			Heluan [2]) Sonnensch.-Std.		Assuan. Sonnenscheinstdn., mögl.	Kartum [3]) Sonnenscheinstdn.		
	mögliche	wirkliche	wirkl. in % der mögl.	mögliche	wirkliche	wirkl. in % der mögl.	mögliche	wirkliche	wirkl. in % der mögl.	mögliche	wirkliche	wirkl. in % der mögl.	mögliche	wirkliche	wirkl. in % der mögl.	wirkliche	wirkl. in % der mögl.		mögliche	wirkliche	wirkl. in % der mögl.
November	260	*62*	24	236	*99*	42	307	*135*	44	187	*104*	56	318	*222*	70	*263*	83	—	339	*278*	82
Dezember	238	*38*	16	218	*122*	56	303	*88*	29	170	*85*	50	312	*171*	53	*273*	88	333	341	*285*	84
Januar	254	*40*	16	238	*130*	55	315	*101*	33	181	*107*	59	326	*189*	58	*226*	70	338	328	*275*	84
Februar	280	*65*	23	250	*142*	57	306	*110*	36	206	*116*	56	311	*183*	60	*226*	73	319	323	*239*	74
März	367	*106*	29	335	*184*	55	373	*153*	41	295	*160*	54	369	*232*	63	*289*	78	372	368	*254*	69

Die Zahlen lassen erkennen, um wieviel schon die mögliche Sonnenscheindauer des ägyptischen Wüstenklimas die der europäischen Städte — mit Ausnahme Palermos — übertrifft. Klimatisch bedeutungsvoller ist natürlich die wirkliche Dauer der Besonnung. Diese ist nun für das Wüstenklima außerordentlich viel höher, als für alle europäischen Orte der Tabelle.

Faßt man ins Auge, wie viele Prozente der möglichen Sonnenscheinstunden wirklich Sonne haben, so tritt Kairo unter den ägyptischen Stationen etwas zurück. Abgesehen vom November mit 70% Sonnenschein, liegen die Prozentwerte nicht viel höher als für Lugano und Davos. Hier macht sich die Wirkung der verdampfenden Wasserfläche des Niles geltend. An den eigentlichen Wüstenorten dagegen betragen die Stunden mit Sonnenschein 70—88% der überhaupt möglichen.

Für die ärztlich-klimatische bzw. hygienische Betrachtung werden die Werte deutlicher, wenn man sie auf die Zahl der Stunden mit Sonnenschein pro Tag berechnet.

Tabelle 11.

Tägliche Sonnenscheindauer.

Monat	Berlin Sonnenscheinstunden		Lugano Sonnenscheinstunden		Palermo Sonnenscheinstunden		Davos Sonnenscheinstunden		Kairo Sonnenscheinstunden		Heluan Sonnenscheinstunden	Assuan Sonnenscheinstunden	Kartum Sonnenscheinstunden	
	mögliche	wirkliche	mögliche	wirkliche	mögliche	wirkliche	mögliche	wirkliche	mögliche	wirkliche	wirkliche	mögliche	mögliche	wirkliche
November	8^{40}	2^{04}	7^{52}	3^{18}	10^{23}	4^{30}	6^{14}	3^{28}	10^{37}	7^{23}	8^{46}	—	11^{18}	9^{16}
Dezember	7^{41}	1^{13}	7^{00}	3^{56}	9^{48}	2^{50}	5^{30}	2^{45}	10^{11}	5^{32}	8^{48}	10^{44}	11^{00}	9^{12}
Januar	8^{12}	1^{17}	7^{41}	4^{12}	10^{09}	3^{21}	5^{51}	3^{27}	10^{25}	6^{05}	7^{18}	10^{54}	10^{35}	8^{52}
Februar	10^{00}	2^{19}	9^{00}	5^{04}	10^{56}	3^{56}	7^{21}	4^{09}	11^{07}	6^{33}	8^{05}	11^{23}	11^{32}	8^{32}
März	11^{50}	3^{25}	10^{48}	6^{00}	12^{12}	4^{56}	9^{32}	5^{10}	11^{55}	7^{30}	9^{19}	12^{00}	11^{52}	8^{12}

Aus den Tageswerten erkennt man erst recht die gewaltigen Unterschiede der Besonnung. In Berlin pro Tag für November bis einschließlich Februar durchschnittlich nur 1 Stunde 13 Minuten bis 2 Stunden 19 Minuten Sonnenschein (bei 8—10 Stunden möglicher Sonnenscheindauer); in Lugano 3 Stunden 18 Minuten bis 5 Stunden

[1]) Nach Engel-Bey. Mittel aus 1900—1902.

[2]) Nach Engel-Bey. Mittel aus 1896—1900.

[3]) Nach Determann, Mittel aus 1906—1910.

4 Minuten wirklicher, bei 7—9 Stunden möglichen Sonnenscheines; ähnlich in Palermo. Dagegen scheint die Sonne in Kairo täglich 5½—7½ Stunden, in Heluan 7¼—8¾ Stunden, in Khartum, und wie dieses wird sich auch Assuan verhalten, 8½—9¼ Stunden.

e) Bewölkung. Niederschläge.

Die Verhältniswerte der wirklichen zur möglichen Sonnenscheindauer bringen zum Ausdruck, daß im ägyptischen Wüstenklima der Himmel ganz überwiegend klar und wolkenlos sein muß. Was für Ägypten, gilt ebenso für alle Wüstengegenden, soweit nicht lokale Bedingungen Wolkenbildungen erzeugen. Dabei bestehen natürlich Unterschiede in der Bewölkung zwischen den Orten, die am Rande der Wüste und den, die in ihrem Inneren gelegen sind. Erstere zeigen eine stärkere, letztere eine geringere Bewölkung.

Die Angaben über den absoluten Umfang der Bewölkung, der gewöhnlich in Prozenten der Himmelsdecke angegeben wird, schwanken in den verschiedenen Beobachtungsreihen, je nach der Anzahl von Jahren, die ihnen zugrunde liegen, sind aber auch in verschiedenen vieljährigen Erhebungen nicht gleich.

Die Bewölkungsgröße stellt also einen etwas variablen Faktor dar. Stets aber kommt die äußerst geringe Bewölkung für die Wüstengegenden zum Ausdruck.

Einen Vergleich der nordafrikanischen Wüstenorte mit einer Anzahl europäischer liefert die Tabelle 12 nach Pecnik[1]).

Tabelle 12.
Bewölkung in Prozenten der Himmelsbedeckung. Jahresmittel.

Ort	Jahresmittel	Ort	Jahresmittel
Berlin	65	Tripoli	25
Wien	60	Biskra	23
Abbazzia	50	Kairo	17
Nizza	42	Assiut	11
Cannes	42	Luxor	9
Neapel	45	Assuan	5
Algier	35	Zentrale Westsahara	0
Alexandrien	22		

Nach Engel-Bey[2]) beträgt für Kairo die Bedeckung des Himmels durch Wolken im Jahresdurchschnitt 30% des Gesamthimmels. Im Sommer geht sie bis auf 11% hinab, um in den Wintermonaten (Dezember bis Februar) 42—47% auszumachen. Dabei schwankte die mittlere monatliche Bewölkung im Verlauf der 15 Beobachtungsjahre für den Dezember zwischen 31—59%, für den Januar zwischen 33 und 67%, für den Februar zwischen 33 und 55%.

Schon Luxor, ganz besonders aber Assuan haben eine viel geringere Bewölkung. In Assuan beträgt sie nach Determann in neunjährigem Durchschnitt für den November 1,9%, Dezember 7,4%, Januar 4,3%, Februar 7,4%, März 6,4%.

Algier, Biskra, Tripoli sind, wie die Tabelle zeigt, weit ungünstiger gestellt als die oberägyptischen Orte, die nur durch die zentralen Teile der Westsahara übertroffen werden.

Die Wolkenbildung läßt einen bestimmten täglichen Gang erkennen. Am Morgen und Vormittag ist der Himmel wolkenlos, um Mittag oder in den ersten Nachmittags-

[1]) Pecnik, a. a. O.
[2]) Fr. Engel-Bey, Das Wüstenklima Ägyptens. Berlin 1903.

stunden bilden sich Wolken, um sich am Abend wieder zu zerstreuen. Die Erklärung hierfür ergibt sich aus den Angaben von Alt im ersten Bande dieses Handbuchs (S. 469).

In noch geringerem Umfange kommen Nebel- und Dunstbildung zur Beobachtung.

In Heluan betrug im Mittel von 7 Jahren (Determann[1]) die Zahl der Tage mit Dunst oder Nebel im November 3, im Dezember 4, im Januar 5, im Februar 3, im März 1; in Kairo nach Engel[2]) im Durchschnitt von 15 Jahren im Oktober und November je 7,5, im Dezember 9,5, im Januar 6. Vom April bis zum August ist Nebel sehr selten. Gewöhnlich findet er sich frühmorgens, ist um 12 Uhr meist verschwunden und um 3 Uhr nachmittags nie mehr vorhanden.

Auch die Niederschlagsmengen sind äußerst geringfügig. Über sie orientiert Tabelle 13.

Tabelle 13.

Jährliche Regenmengen in mm Höhe. (Nach Pecnik.)

Ort	Jahresmenge	Ort	Jahresmenge
Österreich (Mittel)	740	Oran	554
Deutschland (Mittel)	710	Biskra	199
Nizza	838	Tripoli	354
Neapel	830	Alexandrien	197
Palermo	596	Kairo	34
Algier	745	Assuan	0
Tunis	487	Wadi Halfa	0
Marokko	815		

Auch in bezug auf die Regenmenge nehmen die ägyptischen Orte gegenüber den nordwestafrikanischen eine besondere Stellung ein. Dabei ist eine eigentümliche Verteilung der Regenfälle zu beobachten, die in ganz Nordafrika im Winter erfolgen, während der Sommer regenfrei ist.

Die Angabe der Tabelle, daß in Assuan und Wadi Halfa die Regenmenge Null ist, bedeutet nur, daß dort während der der Beobachtung zugrunde liegenden Jahre kein Regen gefallen ist; zuweilen fallen einige Regentropfen oder es kommt zu einem wirklichen Regenfalle. Aber dies sind jedenfalls Ausnahmen.

So berichtet Lepsius[3]) von einem heftigen Gewitterregen, dem er an dem Katarakt von Assuan beiwohnte, und der sich weiter über das Niltal verbreitete.

Über die Verteilung des Regens und die Zahl der Regentage in Unterägypten gibt die Tabelle 3 (S. 257) Auskunft.

Schneefall ist in Ägypten nicht zur Beobachtung gekommen, selbst Taubildung soll südlich von Kairo nicht vorkommen. Jedoch gibt F. Exner an, letztere in Luxor im März beobachtet zu haben[4]).

Zuweilen wird in Unterägypten Hagel beobachtet, der sich mit Gewitter verbinden kann. Diese sollen nach Engel leicht sein, und konnten von ihm in 15 Jahren 15 mal festgestellt werden.

---

[1]) H. Determann, Über das Wüstenklima. Zschr. f. physik. diät. Ther. XVIII (1914).
[2]) Fr. Engel-Bey, Das Wüstenklima Ägyptens. Berlin 1903.
[3]) Lepsius, Briefe aus Ägypten. Berlin 1852.
[4]) F. Exner, Wien. akad. Sitzungsber. Bd. 108 (1899).

Im Gegensatz zu Ägypten ist in Nordwestafrika, in Algerien, Tunis, Marokko Schneefall nicht selten, sogar an der Meeresküste; südlich des Atlas soll er nur ausnahmsweise auftreten.

Daß die gebirgigen Wüstengegenden, der Atlas selbst und die Gebirgsstöcke der westlichen zentralen Sahara sich im Winter mit Schnee bedecken, hängt mit der ihrer Höhe entsprechenden Erniedrigung der Lufttemperatur zusammen.

f) Luftbewegung. Winde.

In Wüstenländern hat die Luftbewegung nicht die gleiche hohe klimatische Bedeutung wie sonst in Ländern zwischen der tropischen und der Polarzone. Immerhin kommt ihr auch hier ein wesentlicher Einfluß auf die Welt der belebten Organismen — Pflanzen- und Tierwelt einschließlich des Menschen — zu; bei den homoiothermen Tieren stellt sie einen wichtigen wärmeregulierenden Klimafaktor dar.

In Anbetracht der Entstehung der Luftbewegungen (vgl. dieses Handbuch Bd. I S. 474) kann man schließen, daß im Innern von Wüsten die Luftbewegung verhältnismäßig gering sein muß. Anders an den Wüstenrändern. Über Windstärke und Windrichtungen läßt sich Allgemeingültiges nicht aussagen; letztere sind klimatisch nicht als solche bedeutungsvoll, vielmehr nur dadurch, daß sie, je nach den lokalen Verhältnissen, trockene oder feuchte, warme oder kalte Luft zuführen.

Für uns kommen hier nur die nordafrikanischen Wüstenländer in Betracht. In ihnen ist die Windrichtung übereinstimmend derart, daß vorwiegend nördliche oder nordöstliche Winde wehen. So ist es in Marokko, wo, abgesehen von den Wintermonaten mit nordwestlichen, nur nordöstliche Winde auftreten. An der Küste der nordwestlichen Sahara, in Tripolis, Tunis, Algier sind die Windverhältnisse die gleichen und ebenso auch in Ägypten.

Für Unterägypten (Alexandrien) ergaben sich im 25jährigen Mittel folgende Verhältniszahlen:

Nordwinde (einschließlich Nordost und Nordwest)	673
Ost- und Südostwinde	147
Süd- und Südwestwinde	114
Westwinde	88

In Kairo herrschen während der Sommermonate fast ausschließlich (Engel-Bey) nördliche Winde, vom Oktober treten Südwestwinde auf, die im Dezember und Januar überwiegen; dann treten Nordwestwinde ein, während die Südwinde vom März ab zurücktreten.

In Kartum wehen vom Juni bis August SWS- und SO-Winde, von Mitte Oktober bis November NNO. selten O; dann bis Mitte April Nordwinde. In Assuan wehen fast durchgehend Nord- oder Nordwestwinde. Ebenso in Nubien.

Bezüglich der Windstärke liegen Beobachtungen aus Alexandrien, Kairo und Heluan vor. In Alexandrien betrug (nach Engel-Bey) die Windstärke im Mittel während des November (nach 3stündlichen Messungen mit dem Anemometer) 11,72 km pro Stunde, im Dezember 12,59 km, Januar 12,88 km, Februar 13,12 km, März 13,80 km pro Stunde. Die größte Windstärke unter den Wintermonaten hat also der März. In Kairo hat die Windstärke eine jährliche Periode. Sie ist am stärksten im Juni, geringer in den übrigen Sommermonaten, am geringsten in den Wintermonaten. Sie beträgt im November 5,74 km pro Stunde, im Dezember 5,97 km, im Januar 7,3 km, im Febuar 7,84 km, im März 9,06 km, im April 8,77 km pro Stunde (Engel). Also auch hier ist der März der windreichste Wintermonat.

In Heluan war sie im Durchschnitt von 1906—1910 nach Determann: November 15,3 km, Dezember 13,3 km, Januar 12,9 km, Februar 14,3 km, März 17,3 km pro Stunde.

Dabei folgt die Windgeschwindigkeit einer ganz allgemeingültigen und aus dem Gange der Lufttemperatur zu erklärenden Periode, indem sie nachts geringer ist als über Tag. In Kairo ist sie am geringsten um 6 Uhr früh, nimmt dann schnell zu, um um 3 Uhr nachmittags das Maximum zu erreichen, das im Januar bis März das Minimum um das 3- bis 4fache übersteigt.

Eine besondere Stellung nimmt ein den nordafrikanischen Wüstenländern eine eigentümliche Art von Winden ein, die im Gegensatz zu den bisher beschriebenen, regelmäßig zu beobachtenden, unregelmäßig auftreten, die sog. Chamsine.

Es sind das meist von Süden herwehende heiße Wüstenwinde, die gewöhnlich 1—3 Tage, selten bis zu 8 Tagen dauern und selten im Februar, häufiger im März, am häufigsten im April und Mai auftreten.

Nach fünfjährigen Beobachtungen von Pirona[1]) aus den Jahren 1870—1874 in Alexandrien wehten Chamsine für die fünf Jahre zusammengenommen im

Winter	Frühjahr	Sommer	Herbst
Januar an 3 Tagen	April an 25 Tagen	Juli an 0 Tagen	Oktober an 3 Tagen
Februar „ 2 „	Mai „ 23 „	August „ 3 „	November „ 3 „
März „ 20 „	Juni „ 8	September „ 7	Dezember „ 4 „

Das heißt auf 1 Jahr kamen 20 Chamsintage.

Diese Winde führen zu schneller Temperatursteigerung, damit zu erheblicher Steigerung der Lufttrockenheit, und gehen mit einem Sinken des Barometerdruckes einher. Zugleich führen sie, je nach ihrer Stärke, mehr oder weniger große Mengen Wüstensandes in Form eines sehr feinen, alles durchdringenden Staubes mit sich, zuweilen so viel, daß die Sonne nur als gelbe oder feuerrote Scheibe am Himmel sichtbar ist. — Mit ihrem Aufhören kommt es zu einem starken Temperaturabfall und hoher relativer Feuchtigkeit der Luft. Der Beginn der Chamsine ist gewöhnlich kaum merklich; sie pflegen nach einem Stadium der Windstille einzusetzen und bilden sich allmählich zu immer größerer Stärke aus. Der Wetterumschlag an ihrem Ende dagegen erfolgt schnell und intensiv. In Ägypten treten die Chamsine meist nur mit mäßiger Staubentwicklung auf, zu eigentlichen Sandstürmen, wie in der westlichen Sahara, kommt es nicht.

Trotzdem sind sie infolge der starken Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen, zu denen sie führen, hygienisch bedeutungsvoll.

Als Beispiele seien zwei Beobachtungen von Engel-Bey angeführt.

Im März 1888 wehte der Chamsin in Kairo am 21. bis 23. und am 24. bis 26. März. — In der Nacht zum 24. März war die Temperatur im Minimum 16,3° C. Am 24., um 9 Uhr früh, bei Südwind war sie bereits auf 30° (gegen 17,8° am Tage zuvor) gestiegen, um 3 Uhr auf 40,4°. Die relative Feuchtigkeit betrug um 9 Uhr früh nur 11%, um 3 Uhr 4%. Bei weiterem südlichen Winde blieb die Feuchtigkeit abnorm niedrig — am 25. März früh 6 Uhr 10% —, die Temperatur abnorm hoch: nachts 12 Uhr 31,8°, früh 6 Uhr 27,6°. — Dann drehte vor 9 Uhr früh der Wind nach Nordwesten und nun stieg die relative Feuchtigkeit bis 9 Uhr früh auf 54%, die Temperatur sank bis um 3 Uhr auf 22° (gegen 40,4° am Tage zuvor), war am Abend 6 Uhr 19° und am nächsten Morgen um 6 Uhr 13°.

Die relative Feuchtigkeit war dabei weiter gestiegen und betrug um 3 Uhr 63%, um Mitternacht 83%.

[1]) Vgl. Engel-Bey a. a. O. S. 20.

Um einen außergewöhnlichen Fall handelt es sich bei einem Chamsin vom 19. und 20. April 1889. Bei ihm war die Temperatur am 19. April im Maximum auf 42° gestiegen, um am 20. April ein Minimum von 11,7° zu erreichen. Die mittleren Tagestemperaturen waren am 19. April 29,3° C, am 20. April 19,1° C.

Die großen interdiurnen Temperatursprünge, die S. 263 erwähnt worden sind, sind auf Rechnung herrschender Chamsinwinde zu setzen.

g) Barometerdruck.

Dieser hat, wie überhaupt, so auch im Wüstenklima, klimatologisch keine Bedeutung als solcher. Er zeigt im allgemeinen nur Schwankungen von wenigen Millimetern während einer 24stündigen Periode. Etwas größer und schneller sind sie nur während der Chamsine. So betrug der Barometerstand während des an erster Stelle vorstehend beschriebenen Chamsins am 24. März um 3 Uhr nachmittags 752,7 mm, war also unter dem mittleren Stand, am 25. früh 6 Uhr war er auf 751,8 mm gesunken. Er stieg dann nach Aussetzen des Chamsins bis 9 Uhr um 3 mm, bis 12 Uhr auf 756,1 mm, bis 9 Uhr abends auf 759,6 mm und bis zum 25. März früh 9 Uhr auf 760,4 mm.

Diese Schwankungen sind schon als außergewöhnliche zu betrachten.

h) Luftelektrizität.

Über Bestimmungen des elektrischen Potentialgefälles der Luft im Wüstenklima liegt eine Mitteilung von F. Exner[1]) vor. Sie sind in Luxor (Oberägypten) während 20 aufeinanderfolgender Tage im März ausgeführt worden und betreffen alle Tageszeiten, mit Ausnahme einiger Nachtstunden.

Es ergab sich dabei, daß das Potentialgefälle sehr hoch ist; im Mittel fand Exner es zu 128 $\frac{V}{m}$. Die Höhe des Wertes steht mit der Trockenheit der Luft im Zusammenhang, wenn auch diese allein nicht alle hinsichtlich des Verhaltens des Potentialgefälles gemachten Erfahrungen erklären kann.

Dabei zeigte das Potentialgefälle einen ausgeprägten täglichen Gang mit 2 Maxima und 2 Minima. Ein schwächeres Maximum tritt um 7 Uhr früh, ein stärkeres um 8 Uhr abends auf, während die beiden nahezu gleichen Minima um 3 Uhr früh und um Mittag sich ausbilden. Einen ähnlichen Gang findet man auch in anderen Klimata, z. B. ist er im Höhenklima von Dorno[2]) festgestellt worden.

Die Minima sind vielleicht durch Ansammlung von Staub in der Luft zu erklären, der — negativ geladen — das Potentialgefälle herabdrückt. Die durch Staubentwicklung nicht beeinflußten, also die störungsfreien Werte des Potentialgefälles liegen wohl höher als die, die von Exner durch direkte Beobachtung gefunden worden sind.

i) Reinheit der Luft.

Die Wüstenluft hat sich in den wenigen bisher vorliegenden Untersuchungen als außerordentlich rein erwiesen, d. h. arm an organischen Keimen.

H. Engel[3]) fand an einem 5 km von Heluan in der Wüste gelegenen Punkte

---

[1]) F. Exner, Beitr. z. Kenntnis d. atmosphär. Elektrizität. Sitzungsber. d. mathem.-naturwissensch. Klasse d. Wien. Akad. Bd. 108 S. 370 (1899).

[2]) Dorno, Licht und Luft im Hochgebirge. Braunschweig 1911.

[3]) H. Engel, Zur Hygiene und Therapie der Wüste. Zschr. f. klin. Med. Bd. 55 (1904).

nur 280 Keime im Kubikmeter Luft, noch weniger Pinaud[1]) in der algerischen Sahara, 1 km von Biskra, nämlich nur 1—2 Keime in 10000 l Luft.

Das erklärt sich aus dem Mangel an verwesendem Material, und dieser daraus, daß es ein Tier- und Pflanzenleben im gewöhnlichen Sinne in der Wüste nicht gibt.

Allerdings kann die Atmosphäre in Sandwüsten mit Sandstaub mehr oder minder erfüllt sein. Es handelt sich um einen überaus feinen Staub, der besonders zur Zeit der Wüstenwinde aufgewirbelt wird und in das Innere geschlossener Räume eindringt, ja sogar durch das Gehäuse von Taschenuhren hindurchzudringen vermag.

Dieser Sandstaub dürfte jedoch keimfrei sein, da die Oberfläche des Sandbodens infolge ihrer Trockenheit und ihrer starken Erwärmung durch die intensive Sonnenbestrahlung als keimfrei betrachtet werden kann.

II. Die physiologischen Wirkungen des Wüstenklimas.

Die im vorstehenden Abschnitt aufgeführten Eigenschaften der Wüstenluft lassen von vornherein die Annahme begründet erscheinen, daß ihr eigentümliche Wirkungen auf die Lebensprozesse zukommen. Diese Annahme führte schon früh dazu das Wüstenklima zu Heilzwecken zu benutzen, wobei besonders Trockenheit und Reinheit der Luft als wirksame Faktoren in Betracht gezogen wurden. Exakte physiologische Untersuchungen jedoch, die die Grundlage therapeutischen Handelns bilden sollten, sind nur ganz vereinzelt ausgeführt worden und betreffen nur einzelne weniger wichtige Fragen.

In umfassender Weise ist der Einfluß des Wüstenklimas auf die normalen Lebensprozesse nur einmal untersucht worden, und zwar gelegentlich einer Expedition, die Bickel, Loewy, Wohlgemuth, Schweitzer nach Unter- und Oberägypten im Frühjahre 1914 unternommen haben. Deren Ergebnisse sind noch nicht ausführlich veröffentlicht. Die folgenden Ausführungen gründen sich auf die kurzen vorläufigen Mitteilungen, die darüber gemacht worden sind [2][3][4]), und auf das in den Händen des Verfassers befindliche, noch unveröffentlichte Material.

1. Der Wasserwechsel im Wüstenklima.

Die hochgradige Trockenheit der Wüstenluft hat in erster Linie die Aufmerksamkeit auf sich gelenkt und zu Erwägungen über ihre Wirkung Anlaß gegeben. Es ist klar, daß bei der Verknüpfung zwischen Wasserabgabe vom Körper und Wassergehalt der Atmosphäre die erstere mehr oder weniger erheblich gesteigert sein muß, wenn der letztere entsprechend sinkt. Dabei spielt für die Wasserabgabe von seiten der Lungen die absolute Feuchtigkeit, für die seitens der Haut die relative Feuchtigkeit die wesentliche Rolle.

Die Wasserabgabe erweist sich nun ganz erheblich gesteigert. Die Steigerung betrifft beide Wege der Wasserabgabe, jedoch ist die Haut mehr daran beteiligt als die Lungen.

---

[1]) Zitiert nach Pecnik a. a. O. S. 89.

[2]) A. Loewy, Über den Stoffwechsel im Wüstenklima. Veröffentl. d. Zentralstelle f. Balneol. III und Zschr. f. Balneol. IX S. 43 (1916).

[3]) A. Bickel, B. kl. W. 1916 Nr. 26.

[4]) J. Wohlgemuth, Biochem. Zschr. 79 S. 290 (1917); E. Schweitzer, B. kl. W. 5 (1921).

Die folgende Tabelle gibt die gefundenen Mittelwerte im Vergleich mit den im Juni 1914 in Berlin gewonnenen und zugleich die dazugehörigen meteorologischen Daten.

Tabelle 14.

Wasserabgabe von Haut und Lungen.

Person, Ort und Zeit	Lufttemperatur C° Mittel	Relative Feuchtigkeit % Mittel	Wassergehalt der Luft im Mittel mg im Liter	Wasserabgabe pro Tag durch die Haut g	Wasserabgabe pro Tag durch die Lungen g	Gesamt-Wasserdampfabgabe g	Prozentische Steigerung der Wasserabgabe insgesamt	durch die Haut	durch die Lungen
Loewy									
Berlin 22.—26. Juni	16,9	65,9	9,7	942	297	1239			
Heluan 17.—21. März	17,35	62,3	9,1	1582	305	1887	+41,2	+68	+2,5
Assuan 27.—31. März	27,17	14,05	3,6	2270	391	2361	+90,4	+141	+32
Bickel									
Berlin 22.—26. Juni	16,9	65,9	9,7	1010	349	1359			
Heluan 17.—21. März	17,35	62,3	9,1	2024	339	2363	+73,8	+100	—3
Assuan 27.—31. März	27,17	14,03	3,6	2619	496	3115	+129	+159	+45
Wohlgemuth									
Berlin 22.—26. Juni	16,9	65,9	9,7	959	247	1206			
Heluan 17.—21. März	17,35	62,3	9,1	1348	334	1682	+39,5	+40,5	+36
Assuan 27.—31. März	27,17	14,05	3,6	2187	404	2591	+115,4	+128	+63

Am stärksten zeigt sich die Wirkung auf die Wasserdampfabgabe in Assuan, aber auch in Heluan ist die Steigerung des von der Haut abgegebenen Wasserdampfes erheblich. Die Intensität der Wirkung in Assuan ist aus der hohen Temperatur und Trockenheit ohne weiteres verständlich. Dagegen könnte die vermehrte Wasserdampfabgabe in Heluan, angesichts dessen, daß Temperatur und Wassergehalt der Luft nicht wesentlich von den analogen Werten, die im Juni für Berlin gefunden wurden, abweichen, auffallen. Sie erklären sich daraus, daß die strahlende Wärme, die zwar in der Lufttemperaturmessung nicht zum Ausdruck kommt, wohl aber in ihrer Wirkung auf den menschlichen Körper sich geltend macht, am ersteren Orte eine viel größere Rolle spielt. Ein Beweis dafür, daß aus Lufttemperatur und relativer Feuchtigkeit allein die physiologische Wirkung eines Klimas in Hinsicht auf seine Wärmewirkung nicht vorausberechnet werden kann.

Die Verschiebung, die in dem Verhältnis zwischen Lungen- und Hautwasserdampfabgabe im ägyptischen Klima eintritt, ist sehr erheblich. Die Lunge tritt noch weit mehr als wasserverdampfendes Organ zurück, als das in unserem Klima der Fall ist. Aus der Tabelle 14 berechnen sich für das Verhältnis zwischen Lungen- und Hautwasser folgende Werte:

Tabelle 15.

	Berlin	Heluan	Assuan
Loewy	Berlin 1:3,2	Heluan 1:5,3	Assuan 1:5,8
Bickel	„ 1:2,9	„ 1:6	„ 1:5,3
Wohlgemuth	„ 1:3,9	„ 1:4	„ 1:5,4

Ein so weites Verhältnis, wie hier, findet man in unserem Klima nur unter Bedingungen, die zu Schweißausbruch führen. Im Wüstenklima dagegen kommt es wesentlich durch enorm gesteigerte physikalische Wasserverdunstung zustande (vgl. Abschnitt 2 S. 277).

Die gesteigerte Wasserverdunstung ist für die Art der Wärmeabgabe von seiten des Körpers in dem Sinne wichtig, als dadurch die durch Leitung und Strahlung erfolgende verhältnismäßig zurückgedrängt wird. Es ergibt sich nämlich, daß letztere für Berlin 60—67% der gesamten Wärmeabgabe ausmacht, die Wasserverdunstung 25½—28½%; dagegen in Heluan erstere 44½—54%, letztere 35—46%, in Assuan erstere 29½—40½%, letztere 53—61%. Die Teilnahme an der Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung einerseits, durch Wasserverdunstung andererseits ist also im Wüstenklima der in unserem Klima gerade entgegengesetzt. Die starke Wasserabgabe durch Haut und Lungen hat weiter zur Folge, daß das Verhältnis von Harnmenge zu Wasserdampfabgabe sich merklich verschiebt. In Berlin war es wie 1 zu 1.0—1.5; in Heluan wie 1:1,7—2,7; in Assuan wie 1:2,5—3,4.

2. Die Tätigkeit der Haut im Wüstenklima.

Daß es sich bei dem Überwiegen der Wasserverdunstung um eine im wesentlichen rein physikalische Erscheinung, d. h. um eine vermehrte Diffusion von Wasserdampf handelt, und daß nicht etwa ein aktiver Sekretionsprozeß seitens der Schweißdrüsen alles mehr abgeschiedene Wasser liefert, geht daraus hervor, daß die Wasserabgabe von der Haut einen anderen Gang nimmt als die im Schweiß gelösten Bestandteile, daß sie oft ganz einseitig gesteigert ist. Würde die Schweißsekretion eine wesentliche Rolle spielen, so müßte zugleich mit dem Wasser auch die Abgabe der im Schweiß gelöst enthaltenen festen Bestandteile, insbesondere von Kochsalz und stickstoffhaltigen Substanzen, erhöht sein, und zwar annähernd entsprechend der Schweißmenge.

Natürlich kann man auch mehr oder minder intensiven Schweißausbruch im Wüstenklima beobachten, besonders bei anstrengender körperlicher Arbeit. Auch kann es bei mäßiger Schweißbildung zu einer, man könnte sagen „insensiblen Schweißproduktion" kommen, wobei das Schweißwasser, wie es an die Hautoberfläche tritt, sogleich verdunstet, die Haut also nicht feucht erscheint. Auch hierbei lassen sich die im Schweiße gelösten festen Stoffe auf der Haut nachweisen.

Die Zahlen der Tabelle 16 geben die Belege für diese Auffassung.

Tabelle 16.
Stickstoff- und Kochsalzabgabe von der Haut.

Person	Ort	Hautwassermenge in 24 Std. g	N-Abgabe durch die Haut in 24 Stdn. g	N-Abgabe pro Liter Hautwasser g	NaCl-Abgabe durch die Haut in 24 Std. g	NaCl im Liter Hautwasser g
Loewy	Berlin	752	0,29	0,38	0,123	0,163
	Heluan	1552	0,60	0,38	0,226	0,14
	Assuan	1770	0,62	0,35	1,59	0,9
Bickel	Berlin	990	0,33	0,33	0,255	0,255
	Heluan	1672	0,37	0,22	0,396	0,237
	Assuan	2868	0,48	0,16	0,580	0,202
Wohlgemuth	Berlin	960	0,09	0,10	0,201	0,21
	Heluan	1115	0,43	0,40	0,386	0,35
	Assuan	1427	0,29	0,20	1,38	0,96

Zunächst die Stickstoffabgabe. Sie ist bei Bickel in Heluan gar nicht, in Assuan ganz wenig gesteigert. An ersterem Orte wird also die gesamte Wassermehrausscheidung durch gesteigerte Verdunstung bestritten, an letzterem die überwiegende Menge dieser. Dementsprechend gestaltet sich auch das Verhalten der N-Konzentration im abgegebenen Hautwasser. Pro Liter nimmt sein Stickstoffgehalt progredient ab (Stab 5) von 0,33 über 0,22 auf 0,16%.

Bei Wohlgemuth liegt der Berliner Wert abnorm niedrig; aber beweisend für die Bedeutung der reinen Hautverdunstung ist das Verhalten in Assuan. Nicht nur die Gesamtabgabe an N ist geringer als in Heluan, sondern auch die N-Konzentration ist auf die Hälfte der in Heluan gefundenen gesunken.

Demgegenüber hat das Wüstenklima bei Loewy zugleich die Schweißsekretion angeregt. Die N-Abgabe stieg proportional dem Mehr an Wasserabgabe, so daß die Konzentration des Hautwassers ungeändert blieb. Das bedeutet aber, daß auch bei Loewy die Wassermehrausscheidung nicht allein durch Schweiß, vielmehr zugleich auch durch Mehrverdunstung von Wasserdampf zustande kam.

Die Kochsalzausscheidung durch die Haut läßt die gleichen Verhältnisse erkennen, wenn auch ein vollkommener Parallelismus mit der Stickstoffabgabe nicht zu beobachten ist. — Bei Bickel zeigt sie eine geringe Zunahme, so jedoch, daß — ebenso wie für den Stickstoff — die Kochsalzkonzentration im Hautwasser fortschreitend sinkt. Bei Loewy ist in Assuan eine erhebliche Mehrabgabe festzustellen, so daß die Anregung der Schweißdrüsentätigkeit deutlich zum Ausdruck kommt, ebenso bei Wohlgemuth.

Wie wenig Bedeutung jedoch selbst den Höchstwerten der 24stündigen N- und NaCl-Ausscheidung beizulegen ist, ergibt sich daraus, daß als Durchschnittswerte für die N-Abgabe in unserem Klima 0,3—0,5 g N angesehen werden, und daß in einem zweistündigen Schwitzbad über 1 g N, bei mehrstündiger körperlicher Arbeit (Märsche) 1,35[1])—1,88 g[2]) ausgeschieden werden können.

An Kochsalz wurden von Harnack[3]), der von einem Rheumatiker 1½ l Schweiß durch zweistündigen Aufenthalt in der Schwitzwanne gewinnen konnte, 5.2 g im Liter, d. h. im ganzen 7,6 g NaCl als durch die Haut abgegeben gefunden.

Die Zahlen zeigen, wieweit selbst da, wo die Schweißsekretion im Wüstenklima angeregt war, die reine Verdunstung über die Schweißbildung überwog.

Die Wirkung des Wüstenklimas auf die Hautfunktion stellt sich also ganz anders dar, als bisher angenommen wurde, wo man sie einfach als Anregung der Schweißdrüsentätigkeit auffaßte und mit dem Effekt von Schwitzbädern, Pilokarpininjektionen u. ä. in eine Reihe stellte[4]), oder zum mindesten annahm, daß mit dem Wasser auch Salze in reichlicher Menge durch die Haut abgegeben werden[5]).

Im wesentlichen verhält sich die Haut bei der Wasserabgabe passiv, eine aktive Tätigkeit könnte höchstens in einer Erweiterung der Blutgefäße unter dem Einfluß von Licht und Wärme gegeben sein. Natürlich kommt es auch im Wüstenklima zu einer Anregung der Funktion der Haut-(Schweiß-)drüsen, wenn durch Muskelarbeit die Wärmeproduktion gesteigert und erhöhte Wärmeabgabe notwendig wird. —

[1]) Zuntz und Schumburg, Physiol. d. Marsches. Berlin 1901. S. 200.

[2]) E. Cramer, Arch. f. Hyg. 10 S. 231.

[3]) Harnack, Festschr. d. Mediz. 11 (1893).

[4]) H. Engel, Über Ägyptens Kurorte und Indikationen. Zschr. f. physik. diät. Ther. IX S. 385 (1906).

[5]) Guthmann, zit. nach W. Preminger und Max Loewy, Festschr. d. Heluaner Kurmittelhauses. Heluan 1914. S. 62; auch H. Determann, Über das Wüstenklima. Ärztl. Jahreskurse. August 1914 und Zschr. f. phsik. diät. Ther. XVIII (1914).

Die Haut reagiert zuweilen auf die Trockenheit der Wüstenluft auch noch in anderer Weise. Sie wird trockener, spröde, schuppend, die Haare sollen gleichfalls spröde werden, die Nägel rissig und ihren Glanz verlieren. Auch diese Erscheinungen sind Folgen der Lufttrockenheit, ebenso wie auch das Aufspringen und Bluten der Lippenschleimhaut.

Häufiger werden Erytheme infolge der intensiven Bestrahlung beobachtet.

3. Die Beeinflussung der Nierentätigkeit.

Auch heute noch ist die Anschauung ziemlich allgemein geltend, daß das Wüstenklima infolge der Anregung der Hauttätigkeit die Arbeit der Niere vermindere. Diese Anschauung konnte so lange berechtigt sein, als man — wenn auch ohne Beweis — annahm, daß im Klima von Wüstengegenden eine aktive Tätigkeit der Haut bzw. ihrer Drüsen zustande komme.

Nach den im vorigen Abschnitt mitgeteilten Ergebnissen kann sie nicht mehr aufrechterhalten werden.

Eine Entlastung der Nieren bezüglich der Ausscheidung stickstoffhaltiger Stoffe oder von Kochsalz tritt nicht oder nur in sehr geringem Grade ein. Es könnte höchstens eine verminderte Wasserabscheidung in Betracht kommen. Aber auch diese erfolgt nicht, wie die Zahlen der Tabelle 17 ergeben.

Tabelle 17.
Harnmengen und Harndichte.

Ort	Harnmengen in Kubikzentimeter bei			Harndichte bei		
	Loewy	Bickel	Wohlgemuth	Loewy	Bickel	Wohlgemuth
Berlin	897	868	1186	1020	1025	1019
Heluan	993	888	959	1022	1027,6	1022
Assuan	952	896	1031	1021	1027,6	1023

Danach war die Harnmenge — im Tagesmittel der fünftägigen Perioden — bei Loewy etwas gestiegen, bei Bickel gleich geblieben, bei Wohlgemuth etwas gesunken. Die Mengen liegen vollkommen innerhalb der Breite, die auch in unserem Klima gefunden wird. Dabei ist die Harndichte um einige Einheiten gestiegen.

Dieses Ergebnis trifft man natürlich nur dann, wenn die Wasseraufnahme unbeschränkt ist, d. h. dem Durstgefühl entsprechend geregelt wird. Ist das nicht der Fall, so müssen die Harnmengen entsprechend der erhöhten Wasserabgabe durch Haut und Lungen sinken. Dasselbe ist der Fall, wenn die Nahrung sehr kochsalzarm gewählt wird. Dann tritt bei gesteigerter Wasserabgabe durch Haut und Lungen nicht alsbald ein Durstgefühl ein, weil die Konzentration des Blutes an Kochsalz niedrig liegt und auch bei geringer Harnbildung nicht sogleich die Grenze erreicht wird, bei der das Blut an Salzen abnorm reich, d. h. konzentrierter wird als normal, und damit Anlaß gegeben ist zu vermehrter Flüssigkeitsaufnahme.

So verhielt sich ein vierter Teilnehmer an der Wüstenexpedition. Dieser nahm nur 5 g Kochsalz täglich zu sich, d. h. soviel, wie in den Nahrungsmitteln an sich enthalten war, ohne sonst die Speisen zu salzen. Seine Harnmengen betrugen im Tagesdurchschnitt der Berliner Periode 760 ccm, der in Heluan 398 ccm, der in Assuan 468 ccm, wobei Minima von 210 ccm in Heluan, von 300 ccm in Assuan erreicht wurden.

Die Harndichten waren 1027, 1029, 1029.

Eine Einschränkung der Nierenarbeit findet also in Hinsicht auf die Wasserausscheidung bei der gewöhnlichen Art der Ernährung nicht statt. Sie tritt nur auf bei Kostformen, durch die der Gehalt des Blutes an harnfähigen Stoffen herabgesetzt wird, und kann dann zu einer, im Vergleich mit den in unserem Klima gefundenen Harnmengen, abnorm geringen Harnausscheidung führen.

Da Harnmengen und Harndichte keine abnormen Änderungen zeigen, kann auch die Ausscheidung der festen Bestandteile mit dem Harn keine wesentliche Änderung erfahren.

Für die wichtigsten Harnbestandteile, die stickstoffhaltigen, trifft dies zu. Minderausscheidung stickstoffhaltiger Stoffe fand sich bei normaler Diät in keinem Falle; eine Verminderung der Nierenarbeit für ihre Ausscheidung findet also nicht statt.

Tabelle 18.
Stickstoffumsatz.

Person	Ort	Menge des täglich resorbierten N g	Menge der täglichen N-Ausscheidung im Harn g	N-Bilanz (unter Berücksichtigung des Schweißes)
Loewy	Berlin	13,94	13,98	—0,62
	Heluan	14,40	15,62	—1,84
	Assuan	13,55	14,92	—1,99
Bickel	Berlin	13,77	13,32	+0,12
	Heluan	15,78	15,77	—0,36
	Assuan	13,94	16,22	—2,76
Wohlgemuth	Berlin	15,65	15,06	+0,50
	Heluan	15,39	14,05	+0,91
	Assuan	15,24	15,56	—0,62

Aus der Tabelle ergibt sich, daß in Berlin bei allen drei Versuchspersonen annähernd Stickstoffgleichgewicht bestand. In Assuan wird im Verhältnis zur Einnahme mehr Stickstoff ausgeschieden, so daß die Bilanz negativ wird. Dasselbe ist bei zwei Personen in Heluan der Fall, während bei der dritten ein Weniges mehr an N zurückgehalten wird.

Anders verhält sich nur die vierte Person mit ihrer geringen Harnausscheidung im Wüstenklima. Diese hatte in Berlin eine schwach positive N-Bilanz, in Heluan und Assuan jedoch eine sehr stark positive, d. h. bei ihr kam es zu einer Retention N-haltiger Produkte. Dieser Befund ist wichtig mit Rücksicht auf Nierenkranke, bei denen eine solche Zurückhaltung unerwünscht ist. Denn es ist wohl zweifellos, daß es sich hier nicht um einen Eiweißansatz handelt, vielmehr um Aufstapelung von stickstoffhaltigen Schlacken des Stoffwechsels. Eine Beschränkung der Wasserzufuhr und damit der Harnmenge muß danach vermieden werden.

4. Der Stoffumsatz.

Auch der Stoffumsatz erweist sich im Wüstenklima als beeinflußt, allerdings in einer noch nicht zu deutenden Weise. Der Stickstoffwechsel wurde bereits im vorangehenden Abschnitt behandelt. Er ging bei genügender Wasserzufuhr aus dem Gleichgewichtszustande in eine negative Bilanz über.

Das Gegenteil zeigt der Chlornatrium- und Phosphorsäureumsatz. Beide

wurden im Wüstenklima positiv, allerdings bei mäßiger Zunahme der Zufuhr. Dies zeigt Tabelle 19.

Tabelle 19.

Phosphorsäure- und Kochsalzbilanz.

Person	Ort	Phosphorsäure Zufuhr pro Periode g	Phosphorsäure Bilanz pro Tag g	Chlornatrium Zufuhr pro Periode g	Chlornatrium Bilanz pro Tag g
Loewy	Berlin	19,34	+ 0,87	34,625	—0,17
	Heluan	24,34	+ 1,22	38,26	+ 1,57
	Assuan	24,09	+ 1,46	42,51	+ 1,64
Bickel	Berlin	—	—	51,46	+ 0,64
	Heluan	26,55	+ 2,32	54,80	+ 3,20
	Assuan	26,30	+ 1,64	58,23	+ 2,96
Wohlgemuth	Berlin	19,15	+ 0,09	—	—
	Heluan	26,15	+ 1,98	51,51	+ 1,83
	Assuan	25.90	+ 1,81	58,60	+ 2,10

Ob etwas Grundsätzliches aus diesen Verhältnissen zu schließen ist, muß vorläufig dahingestellt bleiben.

Die Retention von. Phosphorsäure läßt schließen, daß keine gesteigerte Zersetzung phosphorhaltigen Zellmaterials zustande kam. Die Kochsalzretention möchte Bickel so deuten, daß die starke Wasserverdunstung durch die Haut zu einer Konzentrationserhöhung des Kochsalzes in der Haut und damit zu einer Deponierung desselben in ihr geführt hat. —

Die Ausnutzung der Nahrung zeigte keine Veränderungen gegen Berlin und war durchaus normal, wie Tabelle 20 erkennen läßt.

Tabelle 20.

Ausnutzung der Nahrung.

Person	Ort	Ausnutzung in Prozent des Eingeführten: N	Fett	Kalorien
Loewy	Berlin	90,7	96,2	90,9
	Heluan	90,9	97,8	91,4
	Assuan	90,5	97,8	90,9
Bickel	Berlin	90,4	99,1	92,3
	Heluan	93,6	99,0	93,1
	Assuan	87,2	97,7	90,5
Wohlgemuth	Berlin	90,7	95,3	91,0
	Heluan	92,2	97,4	92,0
	Assuan	90,6	96,4	91,6
Schweitzer	Berlin	—	—	—
	Heluan	89,3	98,0	92,5
	Assuan	86,1	96,6	90,6

Endlich der Gesamtumsatz, ermittelt aus den Werten für den Sauerstoffverbrauch und die Kohlensäureausscheidung im Ruhe-Nüchternzustande.

Dieser war bei dem einen der Untersuchten (W.) konstant geblieben (vgl. Tab. 21), zeigte dagegen bei den drei anderen das eigentümliche Verhalten, daß er gegenüber Berlin mehr oder weniger erheblich herabgesetzt war.

Tabelle 21.
Gaswechsel.

Person	Ort	Pro Minute Atemvolumen ccm reduziert	O₂-Verbrauch ccm	CO₂-Bildung ccm	Respirator-Quotient
Loewy	Berlin	4740	210,2	176,2	0,839
	Heluan	4540	197,5	152,5	0,772
	Assuan	4052	174,25	128,0	0,735
Bickel	Berlin	6353	278,2	239.7	0,863
	Heluan	5524	251,7	186,2	0,707
	Assuan	5817	230,25	182,1	0,842
Wohlgemuth	Berlin	4151	239,5	187,95	0,785
	Heluan	5529	237,4	180,12	0,755
	Assuan	5709	253,6	186,07	0,734
Schweitzer	Berlin	6192	297,4	264,70	0,890
	Heluan	4271	195,6	145,05	0,701
	Assuan	4327	231,0	158,13	0,685

Dieses Ergebnis verlangt eine Nachprüfung an einer größeren Zahl von Personen auf seine Konstanz hin. Ebenso müßte an zahlreichen Eingeborenen der Gaswechsel untersucht werden, um festzustellen, ob auch diese gegenüber Europäern eine Einschränkung des Umsatzes zeigen. Das ist eigentlich nicht anzunehmen, da sich aus allen bisherigen Untersuchungen ergeben hat, daß — abgesehen vielleicht vom Höhenklima (vgl. das betreffende Kapitel) — Unterschiede im Gaswechsel in den verschiedenen Klimaten — auch im Tropenklima (vgl. dieses) — unter sonst gleichen Bedingungen nicht oder nicht sicher festgestellt werden konnten.

Die gefundene Einschränkung des Gesamtumsatzes soll deshalb zunächst nur registriert werden, ohne auf die Möglichkeiten einer Erklärung einzugehen. Da, wie sich gezeigt hat (vgl. S. 279), der Stickstoffwechsel nicht eingeschränkt ist, müßte eine Einschränkung des Gesamtgaswechsels durch Schonung des Umsatzes stickstofffreier Stoffe, der Fette bzw. Kohlenhydrate, erfolgen.

Jedenfalls sprechen diese einzigen bisher vorliegenden experimentellen Ergebnisse nicht im Sinne einer Steigerung des Stoffumsatzes, die als bestehend behauptet worden ist. Vielleicht hat die Anregung des Appetits, die häufig einzutreten scheint, zu der Annahme einer Stoffwechselsteigerung beigetragen. Daß natürlich der lang ausgedehnte Aufenthalt und die Bewegungsmöglichkeit im Freien den Gesamtumsatz steigern, ist selbstverständlich, aber dieser Effekt fällt nicht mit dem Begriff der klimatischen Stoffwechselanregung zusammen, worunter die Erhöhung des Ruhe-Nüchtern-, des sog. Erhaltungsumsatzes verstanden wird.

Auf Grund wohl der leicht erkennbaren anregenden Wirkung des Wüstenklimas auf die psychischen Prozesse (vgl. Abschnitt 8 S. 288) wird von manchen Seiten eine Anregung sämtlicher Funktionen, eine „Steigerung der Gesamtvitalität" behauptet. Diese besteht jedenfalls in bezug auf die grundlegenden somatischen Prozesse, die des Stoffumsatzes, nicht. Ein Beweis gegen diese Annahme ist auch darin gegeben, daß man sich mit der gleichen Nahrungsmenge, wie in kälteren Klimaten, im Körpergleichgewicht halten kann bei einem gleichen Maße der Betätigung.

5. Wirkung auf die Atmung.

Man könnte daran denken, die Herabsetzung des Gaswechsels in Verbindung zu bringen mit einer Verkleinerung des Atemvolumens, wie sie aus Tabelle 21

deutlich wird. Jedoch sind die Unterschiede der Atemgrößen zu geringfügig, um den erheblichen Abfall des Umsatzes zu erklären.

Auch bezüglich der Atemgröße macht nur Wohlgemuth eine Ausnahme, bei dem sie im Wüstenklima gegenüber Berlin gesteigert ist.

Die Tabelle gibt die auf den Normalzustand reduzierten Atemvolumina. Die direkt beobachteten Volumina zeigen die gleichen Verhältnisse, d. h. eine Verminderung (bzw. bei W. Steigerung) in ähnlichem Ausmaße. Man könnte denken, daß angesichts der hohen Außentemperaturen auch die Temperatur der Exspirationsluft erheblich gesteigert war und nun durch Reduktion auf 0° eine stärkere Volumenverminderung berechnet wurde als in Berlin. Aber trotz der hohen Luftwärme war die der Ausatmungsluft nur wenig gesteigert, ja bei Luftwärmen von 37—37,5° C (Assuan) lagen die Wärmegrade der letzteren niedriger als die der Einatmungsluft.

Gegenüber einer Temperatur der Exspirationsluft von im Mittel 34° C, wie sie bei Mundatmung Loewy und Gerhartz[1]) für niedrige Außentemperaturen gefunden hatten, betrug erstere bei 30—34° Lufttemperatur 34,6—35,6°, und bei 37 bis 37,5° auch nur 35,7—36,7°, war also niedriger als die Außentemperatur. Die Wärmeabgabe von seiten der Lunge ist demnach in diesem letzteren Falle geringer, als dem Werte entspricht, der durch die Wasserverdunstung zustande kommt.

Die Atemfrequenz erwies sich nicht deutlich gegen Berlin verändert; wo also die Atemgröße vermindert war, mußte dies durch Verminderung der Atemtiefe geschehen sein.

Von einer Anregung der Atmungstätigkeit bei Körperruhe kann also bei 3 von den 4 Untersuchten nicht gesprochen werden; sie ist also sicherlich nicht die Regel.

Demgegenüber finden sich mehrfache Angaben, denen zufolge ganz allgemein bei Neuankömmlingen im Wüstenklima eine Vertiefung der Atmung sich ausbilden soll. Es soll nach Pecnik[2]) eine „leichtere, aber andauernde Vertiefung und Kräftigung der Atmung" zustande kommen; die Brust soll sich nach Lüttke[3]) „erweitern, wie im dünnen Äther des Hochgebirges". Auch nach Reil[4]) geht die Atmung leichter und tiefer vonstatten.

Nach Pecnik soll die Vertiefung durch reflektorische Anregung der Atemtätigkeit durch den Reiz der trockenen Luft erfolgen.

Messungen haben die genannten Autoren nicht vorgenommen; ihre Anschauung stützt sich auf das subjektive Gefühl. Diesem zufolge geht die Atmung allerdings leichter und freier vor sich, und damit kann der Eindruck der vertieften Atmung erweckt werden.

Das Gefühl des leichteren Atmens muß auf Rechnung der Reinheit und Trockenheit der Luft gesetzt werden, wie dies ja auch in anderen Klimaten unter gleichen klimatischen Verhältnissen zur Beobachtung kommt.

6. Wirkung auf die Körperwärme.

Die Temperatur des ruhenden Körpers ist im Wüstenklima nicht geändert gegenüber der in kälteren Zonen. Die Wärmeregulationsmechanismen sind also zu ihrer Konstanterhaltung ausreichend, wenigstens wenn die Wärmeproduktion nicht

---

[1]) Loewy und Gerhartz, Pflüg. Arch. 155 (1913).

[2]) a. a. O. S. 92.

[3]) M. Lüttke, Aus Vergangenheit und Gegenwart des Pharaonenlandes. Teil II. Leipzig 1873.

[4]) Reil, Ägypten als Wüstenaufenthalt für Kranke. Braunschweig 1859.

durch Muskeltätigkeit gesteigert ist. Nimmt diese jedoch durch Muskelarbeit erheblich zu, dann kommt es eher als in kälteren Klimaten zu einer Erhöhung der Körpertemperatur, wenigstens bei Europäern. Wie sich hierbei die Eingeborenen verhalten, scheint nicht untersucht zu sein. Diese scheinen jedoch bedeutend widerstandsfähiger gegen Überhitzung zu sein als erstere. Dafür spricht, daß sie Körperanstrengungen vertragen, denen ein Europäer nicht gewachsen ist. Diesen ermüdet schon ein vielstündiger Ritt durch die Wüste, während die Eingeborenen imstande sind, die gleiche Zeit neben dem Reittier herzutraben, wobei sie allerdings in Schweiß geraten, aber keinerlei Zeichen hochgradiger Ermüdung darbieten (vgl. dazu Abschnitt 7 S. 287).

Wie labil die Körpertemperatur bei Europäern ist, dafür sei folgendes Beispiel angeführt. Nach einem 5stündigen Eselritt, während dessen die Lufttemperatur zwischen 25° und 35° C lag, folgte ein einstündiger Aufenthalt bei vollständiger Körperruhe im beschatteten Raum bei einer Lufttemperatur von 30° C. Dann Fahrt ins Hotel zurück. Die Rektumtemperatur betrug nunmehr, d. h. 1½ Stunden nach Beendigung des Rittes, 39,2°. Nach weiteren 2 Stunden, um 9½ Uhr abends, trotzdem volle Körperruhe eingehalten war, immer noch 38,2°. Am nächsten Morgen war sie zur Norm, auf 36,85°, zurückgekehrt.

Wesentlich abweichend von unserem Klima verhält sich die Art der Wärmeabgabe im Wüstenklima.

Bei der Besprechung des Wasserwechsels (vgl. II, 1) wurde schon hervorgehoben, daß die Wasserverdunstung ein ungewöhnlich hohes Maß erreicht. Dementsprechend steigt auch die Wärmeabgabe, die mit der Wasserverdunstung verbunden ist, auf eine in feuchteren und kühleren Klimaten nicht beobachtete Höhe, wenn sie hier nicht durch Schweißerzeugung besonders gesteigert ist. Dafür ist die Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung herabgesetzt.

Berechnet man die Wärmeabgabe, die auf die Erwärmung der eingeführten Speisen und Getränke und auf die Temperaturänderung der eingeatmeten Luft entfällt, ferner die auf die Wasserverdunstung von Haut und Lungen kommende und das Wärmeäquivalent der geleisteten Arbeit und subtrahiert diese Größen von der Gesamtwärmeabgabe, so erhält man als Rest diejenige Wärmemenge, die durch Leitung und Strahlung abgegeben wird. Auf diese Weise ist die Tabelle 21a berechnet.

Tabelle 21a.
Wärmeabgabe.

Person	Ort	Wärmeabgabe in Kalorien			Von der Gesamtwärmeabgabe kommen auf	
		Gesamt	durch Verdunstung	durch Leitung u. Strahlung	Verdunstung %	Leitung und Strahlung %
Loewy	Berlin	2533	1008,4	1524,8	*28,4*	*60,2*
	Heluan	2499,6	1385,2	1114,4	*43,85*	*44,6*
	Assuan	2540	1463	1077	*54*	*40,3*
Bickel	Berlin	3015,8	789,6	2027,1	*26,1*	*67,2*
	Heluan	2988,7	1373	1319,7	*45,9*	*44,2*
	Assuan	2952,3	1810	868,3	*61,4*	*29,4*
Wohlgemuth	Berlin	2774	700,7	1792	*25,6*	*64,6*
	Heluan	2779	977,4	1508	*35,2*	*54,2*
	Assuan	2804,7	1505,4	1132,7	*53,1*	*40,4*

Sie zeigt, wie in Berlin Leitung und Strahlung im Vordergrunde für die Wärmeabgabe stehen; aber schon in Heluan nähern sich beide Werte einander, so daß bei Loewy und Bickel nahezu gleiche Anteile der Gesamtwärmeabgabe auf Lei-

tung und Strahlung einerseits, auf Verdunstung andererseits entfallen, während in Assuan die letztere bei allen dreien den größeren Anteil an der Entwärmung hat. — Im Wüstenklima kommt also ohne oder ohne wesentliche Schweißbildung eine Art der Entwärmung zustande, wie sie in den europäischen Klimaten nur durch Schweißbildung zu erzielen ist.

Schließlich noch eine Bemerkung über das Temperaturgefühl, die „gefühlte Temperatur" im Wüstenklima. Es ist wesentlich abhängig von der gleichzeitigen Feuchtigkeit der Luft. Je trockener diese, um so leichter die Wasserverdampfung von der Haut und damit die auf dieser erzeugte Verdunstungskälte. Daher kommt es, daß Temperaturen von 22—25° C im Wüstenklima schon als kühl empfunden werden und imstande sind, das Gefühl des Fröstelns hervorzurufen, andererseits Lufttemperaturen über 30° bis zu 40° keine unangenehme Hitzeempfindung auslösen.

7. Wirkung auf Blut und Blutdruck.

Das Verhalten des Blutes und des Blutdruckes im Wüstenklima ist wiederholt untersucht worden, und bei beiden werden Änderungen angegeben.

Schieffer[1]) hat die Blutzellenzahl und den Hämoglobingehalt an 72 gesunden Arabern festgestellt. Er fand eine Erythrozytenzahl von durchschnittlich 5,35 Millionen im Kubikmillimeter, bei 17 davon (= 27%) 6—6,7 Millionen. Bei 7 wohlgenährten Beamten fand er 6,1 Millionen. Das bedeutet also eine Steigerung gegenüber unserem Klima. Auch bei weiblichen Individuen war die Zahl der roten Blutzellen vermehrt, im Mittel auf 5,43 Millionen.

Bei Europäern, die nach Ägypten kamen, stieg allmählich die Blutzellenzahl um etwa 1 Million.

Demgegenüber war der Hämoglobingehalt auffallend niedrig. Er betrug, mit Sahli-Gowers' Apparat bestimmt, nur 80% und weniger bei Männern, unter 70% bei Frauen.

Die Zahl der Leukozyten fand Schieffer normal bei Arabern und Europäern, nur waren bei ersteren die polynukleären Zellen relativ vermindert, die Lymphozyten und Eosinophilen vermehrt.

Neuere Untersuchungen, die Grober[2]) an 79 gesunden Eingeborenen Südtunesiens anstellte, ergaben im Mittel: Blutdichte 1057, Serumdichte 1026, Eiweißgehalt des Blutplasmas 8,5%, Trockenrückstand 22,24%, Erythrozyten 6,3 Millionen im Kubikmillimeter, Hämoglobingehalt 99%.

Die Zahl der roten Blutzellen ist also auch nach Grobers Befunden erhöht, aber der Hämoglobingehalt ist ihr etwa entsprechend, jedenfalls nicht so abnorm niedrig wie bei Schieffer.

Auch Bickel, Loewy und Wohlgemuth[3]) haben Erythrozytenzahl und Hämoglobingehalt an sich bestimmt und kamen zu Ergebnissen, die bezüglich der ersteren mit den Schieffers und Grobers übereinstimmen, nämlich zu einer Zunahme der roten Blutzellen.

Wohlgemuth gibt folgende Zusammenstellung (s. Tabelle 22 auf S. 285).

Auch die Zahl der Leukozyten war bei zwei Personen erhöht. Aber entgegen dem Befunde von Schieffer war der Hämoglobingehalt nicht vermindert, vielmehr — entsprechend dem Verhalten der Erythrozytenzahl — gesteigert.

[1]) Schieffer, Verhandl. d. Kongr. f. innere Med. 28 S. 597 (1911).
[2]) Grober, M. m. W. 37 (1919).
[3]) Vgl. J. Wohlgemuth a. a. O. S. 291.

Tabelle 22.
Blutzellenzahl und Hämoglobingehalt im Wüstenklima.

Person	Ort	Im Kubikmillimeter		Hämoglobin
		Erythrozyten	Leukozyten	
Loewy	Heluan	4540000	6000	95%
	Assuan	4840000	5600	108%
Schweitzer	Heluan	4900000	4800	100%
	Assuan	5680000	6000	106%
Wohlgemuth	Heluan	4900000	8900	96%
	Assuan	5000000	9200	105%

Schieffers Befund bedeutet eine qualitative Veränderung des Blutes, der von Wohlgemuth mitgeteilte zeigt nichts von einer solchen. Eine qualitative Änderung würde nicht unmöglich sein bei Europäern, die sich dem Wüstenklima aussetzen, wäre aber bei Arabern, die dauernd im Wüstenklima leben, sehr auffallend, und auch bei diesen hat sie ja Schieffer gefunden.

Hier sind jedenfalls weitere Untersuchungen notwendig. Was die Steigerung der Erythrozytenzahl in der Volumeneinheit anlangt, so sieht Schieffer sie als eine absolute an, d. h. durch Vermehrung der Gesamtzahl der roten Blutzellen im Organismus bedingt, und Wohlgemuth nimmt denselben Standpunkt ein, wenn er die Differenz zwischen Schieffers und den eigenen Befunden dadurch erklärt, daß im Wüstenklima ein starker Zerfall von Blutzellen einsetzt und die Blutbildungsorgane ihn überkompensieren, und zwar zunächst durch Mehrbildung normaler Erythrozyten, später, wenn der hämopoëtische Apparat durch längere Inanspruchnahme geschwächt ist (wie bei den Eingeborenen), durch Bildung hämoglobinarmer Erythrozyten.

Daß das Wüstenklima zu einer abnorm hohen Produktion von roten Blutzellen fähig ist, kann man annehmen, denn es liegen experimentelle Tatsachen dafür vor, daß intensive Belichtung, wie sie dem Wüstenklima eigentümlich ist, zu einer solchen zu führen vermag.

Das geht aus den im Kapitel „Allgemeine Klimatophysiologie" (S. 43 ff.) mitgeteilten Beobachtungen hervor, ebenso ergeben dies neuere Versuche von Bickel und Tasawa[1]) an Kaninchen, bei denen auf Bestrahlung mit Quecksilberbogenlicht die Zahl der Blutzellen und der Hämoglobingehalt des Blutes entsprechend der Dauer der Bestrahlung zunahmen.

Aber immerhin müßte der Befund einer Steigerung der Erythrozytenzahl in der Volumeneinheit im Wüstenklima durch Bestimmung der Gesamtzahl im Körper bzw. des Gesamthämoglobingehaltes ergänzt werden, um sagen zu können, daß er allein durch letzteres Moment bedingt ist. Neben diesem kämen zu seiner Erklärung in Frage Änderungen in der Verteilung der Zellenzahl auf die verschiedenen Kapillargebiete des Körpers, wobei die Kapillargebiete der Haut reicher, die der inneren Organe ärmer an ihnen würden. Die Annahme solcher Änderungen der Zellverteilung ist gerade im Wüstenklima naheliegend.

Sodann könnte eine Eindickung des Blutes wenigstens an dem Ergebnis mitbeteiligt sein.

Über die Verteilung der Blutzellen in den verschiedenen Abschnitten des Gefäßsystems liegen keine Beobachtungen für das Wüstenklima vor; bekannt ist aller-

---

[1]) Bickel und Tasawa, Charité-Annalen 37 (1913).

dings, daß unter Einfluß hoher Außentemperaturen solche vorkommen, und zwar in dem Sinne, daß die Kapillaren der Haut reicher an Blutzellen werden, während die größeren Gefäße an ihnen verarmen[1]). Die Zunahme, die die Zellenzahl in den Hautkapillaren im Wüstenklima erfährt, könnte also durch diesen Vorgang erklärt werden.

An eine Eindickung des Blutes könnte gedacht werden angesichts der starken Wasserabgabe durch Haut und Lungen. Aber solange die Wasserverdunstung ausgeglichen werden kann durch entsprechende Wasserzufuhr, ist eine Eindickung nicht anzunehmen, sie könnte nur bei Beschränkung der Wasseraufnahme vorkommen.

Direkte Bestimmungen des Wassergehaltes bzw. des Trockenrückstandes des Blutes liegen außer durch Grober noch nicht vor. Grobers oben angegebener Zahlenwert entspricht genau dem Durchschnitt des auch in unserem Klima gefundenen Trockenrückstandes des menschlichen Blutes. Aber auch das Verhalten des spezifischen Gewichtes des Blutes, seines Kochsalz- und Zuckergehaltes spricht gegen eine Eindickung.

Alle drei Werte wurden von Bickel, Loewy, Wohlgemuth[2]) bestimmt. Sie fanden keine deutlichen Veränderungen gegen Berlin. Die folgenden Tabellen geben die Werte für den Kochsalz- und Zuckergehalt.

Tabelle 23.
Kochsalzgehalt des Blutes im Wüstenklima.

Person	Berlin	Heluan	Assuan in Ruhe	Assuan nach 5stündigem Wüstenritt
Bickel	0,512%	0,527%	0,507%	0,527%
Loewy	0,520%	0,525%	0,528%	0,570%
Wohlgemuth	0,538%	0,519%	0,515%	0,526%
Schweitzer	—	0,521%	0,536%	0,521%

Tabelle 24.
Blutzuckergehalt im Wüstenklima.

Person	Berlin	Heluan	Assuan
Bickel	0,065%	0,075%	0,07%
Loewy	0,121%	0,115%	0,11%
Wohlgemuth	0,075%	0,085%	0,07%
Schweitzer	0,061%	0,063%	—

Die Konstanz der Kochsalzwerte ist nur einmal durchbrochen, nämlich bei Loewy nach einem anstrengenden, fünfstündigen Eselritte, während dessen keinerlei Flüssigkeit aufgenommen wurde. Die gefundene Steigerung ist also nicht die Folge der Klimawirkung, vielmehr der Muskelanstrengung.

Das normale Verhalten der Kochsalz- und Zuckerwerte des Blutes spricht für einen normalen Wassergehalt des Blutes und gegen eine Eindickung, die Pecnik annimmt, und die nach ihm als Stimulans auf das Nervensystem wirken soll.

[1]) A. Loewy, B. kl. W. 1896 Nr. 41. Vgl. auch das Kapitel „Allgemeine Klimatophysiologie“ S. 44, dort weitere Literaturangaben.

[2]) Wohlgemuth a. a. O. S. 293 ff.

Wiederholt untersucht wurde auch das Verhalten des Blutdruckes.

Am umfassendsten wohl durch Schieffer[1]). Er bestimmte ihn bei einer Anzahl von Europäern vor und während eines Aufenthaltes in Ägypten, und fand eine Herabsetzung im letzteren Klima, zuweilen unter 100 mm Hg. Ebenso lag der Blutdruck bei 150 Arabern niedriger als bei Gesunden in Europa. Zu den gleichen Ergebnissen war vorher schon H. Engel[2]) gelangt, der ebenfalls bei Europäern und Eingeborenen den Blutdruck bestimmt hat.

Auch Bickel, Loewy, Wohlgemuth[3]) haben Blutdruckbestimmungen an sich ausgeführt. Sie fanden teils den systolischen Druck, teils den diastolischen, teils beide Werte herabgesetzt.

Bei einem älteren Arteriosklerotiker stellten sie eine Abnahme des systolischen, dagegen eine Zunahme des diastolischen Blutdruckes fest.

Die Blutdruckerniedrigung konnte Schieffer auch an Kranken (Nephritikern) feststellen.

Die Wirkung des Wüstenklimas auf den Blutdruck, die vom therapeutischen Gesichtspunkte besonders wichtig ist, erklärt sich aus der intensiven Helligkeit und der hohen Luftwärme der Wüstenluft. Sie führen zu Hyperämie der Haut, zu Erweiterung des Blutstrombettes in ihr, damit zu einem Sinken der Widerstände und einem Sinken des Druckes.

Die Pulsfrequenz scheint bei Körperruhe keine wesentlichen Änderungen zu erfahren; in Beginn des Aufenthaltes scheint sie wenig erhöht zu sein. Nur erweist sie sich als labil, so daß schon mäßige körperliche Anstrengungen zu einem Steigen der Pulszahl führen. Dies mag mit dem labilen Verhalten der Körpertemperatur (vgl. S. 283) zusammenhängen, so daß die Zunahme der Pulsfrequenz von einer bei der Körperarbeit einsetzenden Steigerung der Körperwärme veranlaßt wird.

Wie erheblich der Anstieg der Pulszahl nach nur mäßigen Anstrengungen ist, geht aus einer Beobachtung von Schieffer hervor, wonach nach einem mittelschnellen Lauf über 300—400 m die Pulsfrequenz von 75 auf 148 gestiegen war; dabei war der Puls unregelmäßig, der Blutdruck war von 109 auf 172 mm Hg erhöht. 12 Minuten nach dem Lauf war die Pulszahl auf 96 gesunken. Ein ähnliches Verhalten gibt Determann[4]) an gesehen zu haben. Allerdings war die Pulszahl 6—8 Minuten nach der Muskeltätigkeit wieder auf 80—85 gefallen.

8. Wirkung auf das Nervensystem.

Jeder Klimawechsel ist imstande zu einer Änderung der nervösen, insbesondere auch der psychischen Funktionen zu führen. Da ist es nicht auffallend, daß der Übergang in ein so ungewohntes Klima, wie es für den Europäer das Wüstenklima ist, und dazu in ein Klima, das vielfache Faktoren enthält, die geeignet sind, intensiv auf das Nervensystem zu wirken, in ausgesprochener Weise das Nerven- und Seelenleben beeinflußt.

Fraglich ist allerdings, wieweit beim Aufenthalt in der Wüste die Wirkung der atmosphärischen Verhältnisse des Klimas für das Verhalten des Nervensystems und des Seelenlebens verantwortlich zu machen ist. Denn zweifellos spielen auch die ungewohnten Eindrücke, die von der Landschaft ausgehen, eine erhebliche Rolle.

---

[1]) Schieffer, a. a. O.

[2]) H. Engel, Zschr. f. klin. Med. 55 (1904).

[3]) J. Wohlgemuth a. a. O.

[4]) H. Determann, Zschr. f. physik. diät. Ther. XVIII (1914).

Die Klimawirkung im engeren Sinne wird deshalb vielleicht reiner nach einer gewissen Eingewöhnung zum Ausdruck kommen, wobei andererseits allerdings die sich vollziehende Akklimatisation die Wirkung abzuschwächen oder gar zu ändern vermag. Auf dem Gebiete der nervösen und psychischen Funktionen ist wohl der Unterschied in der Beeinflussung zwischen Eingeborenen und Neuankömmlingen größer als auf dem der rein somatischen Funktionen.

Jedenfalls zeigen letztere bei ihrem Eintreten in eine Gegend mit Wüstencharakter charakteristische Veränderungen ihres nervösen und psychischen Verhaltens. Allgemein angegeben wird, daß auch nach dem Vorübergehen anfänglicher Unruhe ein lebhaftes Wesen, Heiterkeit, Lebensfroheit, das Gefühl erhöhten Behagens, gesteigerte Unternehmungslust zurückbleiben (Reil, Pecnik); eine Art rauschartigen Zustandes sich einstellt (Determann).

Sogar niedergeschlagene und melancholische Kranke werden froh und heiter gestimmt.

Dabei ist jedoch keine besondere Lust zu intensiver Arbeit vorhanden, die geistigen Funktionen sind zwar, wie Reil sich ausdrückt, geweckt, aber es besteht eine Abneigung vor anhaltender geistiger Beschäftigung.

Bei längerem Aufenthalt wandelt sich häufig das Bild. Schieffer gibt an, daß dann — besonders zur Zeit großer Hitze — eine gewisse Erschlaffung eintritt, Depressionszustände sich geltend machen, daß der Appetit nachläßt. Diese Zustände sind jedenfalls nicht hervorgerufen durch ein Gefühl drückender Schwüle, eine Empfindung, die im Wüstenklima nicht ausgelöst wird. Wie verbreitet diese sekundären Zustände sind, läßt sich nicht sagen. Im allgemeinen trifft es nicht zu, daß Appetit und Schlaf gestört sind. Ersterer scheint individuell verschieden beeinflußt zu werden, denn Pecnik berichtet von dem Auftreten eines ganz ungewöhnlichen Hungergefühles. Bezüglich des Schlafes ist die nächtliche Abkühlung, die aus den im ersten Abschnitt beigebrachten Klimakurven hervorgeht, sehr günstig.

Eine besondere Einwirkung auf das Nervensystem hat die Zeit der Chamsine. Diese Wüstenwinde mit ihrer plötzlich einsetzenden Temperaturerhöhung und, auch für Ägypten, abnormen Trockenheit werden von Gesunden, Nervösen und Herzkranken unangenehm empfunden, Lungen- und Nierenleidende dagegen empfinden sie wohltuend. Sie führen leicht zu Erregungszuständen, zu Reizbarkeit, benommenem Kopf und Abgespanntheit.

Nach Hein[1]) sollen nicht die plötzlichen Sprünge der Temperatur und Trockenheit der Luft, vielmehr deren starke elektrische Spannung, die beim Wehen der Chamsine zu beobachten ist, die Ursache für diese nervösen Erscheinungen abgeben.

Eigentümlich ist die Angabe, daß die Schärfe von Gehör und Gesicht erheblich zunehmen soll. Man erkennt die Gegenstände in weit größerer Entfernung und nimmt Laute wahr, die viele Kilometer weit ihren Ursprung haben. Ob diese Tatsachen aber auf erhöhte Sinnenschärfe zu beziehen sind und nicht vielmehr auf die Ruhe und die Reinheit der Luft, muß zweifelhaft erscheinen.

Experimentelle Untersuchungen über das Verhalten des Nerv-Muskelsystems bei Neuankömmlingen im Wüstenklima sind an Bickel, Loewy, Wohlgemuth, Schweitzer ausgeführt und ihre Ergebnisse von letzterem mitgeteilt worden[2]).

Sie beziehen sich auf die motorische Leistungsfähigkeit bei willkürlicher Inner-

[1]) Hein, Zschr. f. Balneol. usw. 1913 Nr. 6—7.
[1]) E. Schweitzer, B. kl. W. Nr. 5 S. 102 (1921).

vierung und wurden derart angestellt, daß mit Hilfe des *Mossoschen* Ergographen die Maximalleistung in Meterkilogramm festgestellt wurde, die vom Zeige- oder Mittelfinger der rechten Hand geschafft werden konnte.

Es fand sich eine *Zunahme der Arbeitskraft* in dem später aufgesuchten *Assuan* gegenüber der, die in dem vorher besuchten *Heluan* gemessen war. Sie war bei 3 von den untersuchten 4 Personen beträchtlich.

Für die Zunahme in Assuan kann ursächlich in Betracht kommen der längere Aufenthalt im Wüstenklima, wie auch die Tatsache, daß dieses in Oberägypten stärker ausgeprägt ist als in dem in Unterägypten gelegenen Heluan. Bei der geringen Zahl und Dauer der Versuche kann fortschreitende Übung als ursächliches Moment ausgeschlossen werden.

Jedenfalls war irgendeine *erschlaffende* Wirkung *nicht* festzustellen.

Ob die gefundene Steigerung der willkürlichen Muskelleistung ganz oder auch nur teilweise auf die *atmosphärischen* Verhältnisse des Klimas zu beziehen ist, ist zweifelhaft und jedenfalls nicht erwiesen. Möglich ist, daß hierbei — wie auch *Schweitzer* hervorhebt — das *psychische* Verhalten: die gehobene Stimmung, das Gefühl der Freude, die Lusterfüllung eine Rolle spielen, indem sie zu gesteigerter Muskelinnervation führen.

Das Tropenklima.

Von Prof. Dr. A. Loewy (Davos).

Mit 4 Abbildungen.

1. Einleitung.

Eine Besprechung der Einwirkung des Trokenklimas auf den Menschen erfordert zunächst eine Begriffsbestimmung des Wortes Tropenklima.

Im ersten Bande, S. 493 ff., hat Alt auseinandergesetzt, daß die Meteorologen und Geographen in der Definition des Tropenklimas nicht einig sind, indem sie seine Abgrenzung teils auf Grund des Verhaltens der Luftwärme vornehmen, d. h. also alle Gegenden mit einem Jahrestemperaturmittel bestimmter Höhe oder darüber als tropische bezeichnen. Nach Supan würde die Jahresisotherme von 20° die untere Temperaturgrenze bilden. Andererseits hat man in der Erkenntnis, daß die Berücksichtigung der Jahrestemperaturmittel nicht zur Kennzeichnung ausreicht, die Art und Menge der Niederschläge mit zur Trennung der verschiedenen Klimate, speziell auch des Tropenklimas, herangezogen, und auch die Besonderheiten der Luftströmungen sind als Einteilungsprinzip verwendet worden.

Vom ärztlich-klimatologischen Standpunkte aus genügt die einseitige Betrachtung eines oder mehrerer Klimaelemente nicht, vielmehr ist es erforderlich, die Wirkung des Gesamtklimas ins Auge zu fassen.

Mit dem Begriffe „Tropenklima“ wird der eines warmen und sehr feuchten Klimas verbunden, das eine auffallende Gleichmäßigkeit der Temperatur- und Luftdruckverhältnisse und damit in Zusammenhang nur geringe Luftbewegungen aufweist. — Ein solches Klima findet sich nun vor allem in der Tropenzone der Erde. In ihr liegt die mittlere Jahrestemperatur zwischen 20 und 28° C; die relative Wasserdampfsättigung der Atmosphäre beträgt 80% und mehr.

Die Gleichmäßigkeit des Tropenklimas ist so groß, daß in der Nähe des Äquators der Temperaturunterschied zwischen den Mittelwerten des wärmsten und des kältesten Monats nur 1—5° C beträgt; er ist an vielen Tropenorten kleiner als die täglichen Temperaturschwankungen. Der mittlere Luftdruck bewegt sich in den Niederungen im allgemeinen zwischen 758 und 762 mm. Eine Ausprägung verschiedener Jahreszeiten besteht nicht.

Aber einerseits gibt es außerhalb dieser Zone Gegenden, die ein gleiches Klima haben, wie z. B. das Tiefland des Ganges; andererseits sind durchaus nicht alle Tropengegenden mit diesem Klima begabt. Wesentlich die an der Meeresküste liegenden Plätze zeichnen sich durch das vorstehend gekennzeichnete Klima aus; es ändert

sich mit der Entfernung von der Küste ins Innere des Landes und mehr noch mit der Erhebung von der Meeresküste aus, d. h. mit der Höhenlage.

Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit sinken alsdann zu Werten, wie man sie in der gemäßigten Zone findet, und an die Stelle der Gleichmäßigkeit des Klimas tritt der Wechsel insbesondere der Lufttemperatur und damit im Zusammenhang der Luftfeuchtigkeit derart, daß zwar die Tage warm, dabei aber relativ trocken, die Nächte jedoch kühl bis kalt werden.

Es gibt also nicht ein einziges Tropenklima; um so weniger, als der zur Tropenregion gerechnete Teil der Erdoberfläche sich bis an die Wendekreise erstreckt und das Klima an den Grenzen der Tropen sich von dem in Äquatornähe doch schon wesentlich unterscheidet.

Charakteristisch für die Tropen und in ihnen einen breiten Raum einnehmend ist allein das Küstenklima der dem Äquator nahen Gegenden, das „Äquatorialklima", und dieses ist es auch, das die für die Tropenregion eigentümlichen und hervorstechendsten physiologischen Wirkungen hervorbringt.

Wenn im Folgenden vom Tropenklima ganz allgemein gesprochen wird, so wird damit stets das tropische Küstenklima bezeichnet.

2. Wirkung des Tropenklimas auf das Allgemeinbefinden. Arbeitsfähigkeit. Schlaf.

Was beim Übergang ins Tropenklima und beim Aufenthalt in ihm subjektiv am meisten auffällt, ist die Beeinflussung des Allgemeinbefindens.

Hitze und hohe Luftfeuchtigkeit sind es, die eine allgemeine Erschlaffung hervorrufen, eine körperliche und eine geistige.

Instinktiv fast wird die Muskeltätigkeit mehr und mehr eingeschränkt. Denn die Erfahrung lehrt alsbald, daß jede körperliche Arbeit zu Beschwerden führt, die in Überwärmung, profusen Schweißausbrüchen, bei höheren Graden in Kopfschmerz, Benommenheit, allgemeiner Schwäche bestehen, und die bei unvorsichtigem Verhalten zu dem ausgeprägten Bilde des Hitzschlages führen (vgl. S. 315 und Allgemeine Klimatophysiologie, S. 52ff.). Ist doch schon bei Körperruhe die Haut des Europäers in den Tropen fast ausnahmslos feucht von Schweiß.

Aber auch die geistige Energie leidet. Von in den Tropen lebenden Europäern wird angegeben, daß sie nur etwa den dritten Teil der Zeit, die sie ohne Beschwerden in Europa geistig tätig sein konnten, im heißen Klima sich anstrengend geistig beschäftigen können; dann tritt geistige Ermüdung, Abspannung, unter Umständen Kopfschmerz ein.

Die Unannehmlichkeiten, die mit intensiver geistiger Beschäftigung verbunden sind, führen allmählich zu einer gewissen geistigen Stumpfheit, zu einer Interesselosigkeit an geistigen Werten.

Das wirkt wiederum auf die ganze Lebensführung zurück und leitet diese vorwiegend auf die materielle Seite des Daseins hin.

Wenn dazu die im Klima liegende Unmöglichkeit kommt, sich körperlich ausgiebig zu betätigen, sei es beruflich, sei es durch Spiel oder Sport, so kommt es zu einer Eintönigkeit des Lebens, zu der Unfähigkeit, es mit nützlichem Inhalt zu erfüllen. Die erzwungene Muße hat das Aufsuchen niedriger Genüsse und das Bedürfnis nach Reizen zur Folge, unter denen der Alkohol keine geringe Rolle spielt. Er soll dazu beitragen die Öde des Lebens in den Tropen erträglich zu machen, aber

gar zu häufig kommt es durch seinen gewohnheitsmäßigen Genuß zu Gesundheitsschädigungen, die im heißen Klima leichter einzutreten scheinen, als in den kälteren Zonen. So soll nach den Erfahrungen von Tropenärzten die Herztätigkeit geschwächt, der Appetit geschädigt, die Darmresorption beeinträchtigt werden[1]. Die Widerstandskraft gegen akute Infektionskrankheiten wird herabgesetzt, so daß z. B. Malaria und Dysenterie bei Potatoren ungünstiger verlaufen als bei Mäßigen.

Bekannt ist auch die ungünstige Änderung, die der Charakter in den Tropen erfährt, und die durch Alkoholgenuß in erhöhtem Maße zum Ausdruck kommt. Der Hang zur Nörgelei, Widerspruchsgeist, Zanksucht, Heftigkeit, krankhaft gesteigerte Reizbarkeit machen sich unangenehm bemerkbar und können Grade annehmen, die das Zusammenleben höchst ungemütlich, zum Teil unmöglich machen.

Das Mitgeteilte läßt erkennen, daß das Zentralnervensystem der Europäer im Tropenklima labiler ist als in unseren Breiten, daß es äußeren Einflüssen weniger Widerstand entgegenzusetzen vermag und ihnen leichter unterliegt.

Schilderungen darüber finden sich vielfach. Auf Grund fremder und eigener Erfahrungen äußert sich Rasch[2] dahin, daß bei vielen Europäern, besonders wenn sie nicht alle paar Jahre den Tropenaufenthalt unterbrechen, allmählich — ohne daß zunächst eine bestimmte geistige Erkrankung festzustellen wäre — eine allgemeine psychische Erschlaffung eintritt, ein Schwinden der geistigen Elastizität, eine Abnahme des Gedächtnisses. Damit verbindet sich eine gesteigerte Reizbarkeit, die schon bei unbedeutenden äußeren Anlässen zu brutalen Entladungen führt, selbst bei sonst selbstbeherrschten Menschen. Solchen Erregungszuständen folgt dann für eine ziemlich lange Zeit ein Zustand hoher Erschöpfung.

Die Gemütsstimmung wechselt. Häufiger ist sie deprimiert, es besteht Neigung zu Hypochondrie und Melancholie, selten kommt es zu Exaltationen.

Die nervöse Beeinflussung tritt am meisten in der Zeit auf, in der das tropische Klima am ausgesprochensten ist, gegen Ende der Regenperiode, wo die hochtemperierte Luft mit Feuchtigkeit überladen ist und die Winde immer mehr abflauen. Hier soll es keinen Europäer geben, der nicht an allgemeiner Mattigkeit, Unfähigkeit zu geistiger Arbeit durch ein Hemmungsgefühl, das keine Arbeit beginnen läßt, an Apathie litte. Dazu gesellen sich bei Einzelnen Klagen über Eingenommensein des Kopfes, Kopfdruck, Beklommenheit, nervöses Herzklopfen.

Zuweilen entwickeln sich aus der „reizbaren Schwäche" des Nervensystems nervöse bzw. geistige Erkrankungen, die in den Tropen verhältnismäßig viel häufiger sein sollen als im gemäßigten Klima. Sinnestäuschungen des Gesichts und Gehörs, Chorea, Epilepsie sind beobachtet worden, und letztere soll, wenn sie schon zuvor bestand, an Schwere zunehmen. Besonders auffallend ist das häufige Befallenwerden von Kindern von nervösen Erkrankungen.

Experimentelle Untersuchungen über den Ablauf der nervösen Funktionen scheinen wenig ausgeführt zu sein. Grijns[3] gibt an, daß die einfachen Reaktionszeiten bei Europäern, die lange in den Tropen leben, verlängert seien, daß sie bei eben die Tropen aufsuchenden wie in Europa abliefen, daß sie aber bei den tropischen Eingeborenen schneller erfolgten als bei letzteren.

Was die körperliche Arbeitsfähigkeit in den Tropen anlangt, so stimmen

---

[1]) Vgl. z. B. K. Däubler, Die Grundzüge der Tropenhygiene. 2. Aufl. Berlin 1900; und Ch. Schilling, Tropenhygiene. Leipzig 1909.

[2]) Chr. Rasch, Über den Einfluß des Tropenklimas auf das Nervensystem. Allg. Zschr. f. Psychiatr. 54 S. 745 (1898). Hier Literaturhinweise.

[3]) Grijns, Geneesk. Tijdschr. voor Nederl. Indie S. 42 (1902).

alle Berichte darin überein, daß sie auch bei akklimatisierten Europäern beträchtlich herabgesetzt ist, hinter der der Eingeborenen zurückbleibt und mit erheblichen Beschwerden verbunden ist.

Längere Arbeit in der Sonne ist ganz unmöglich, aber auch an schattigen Stellen, an denen es in der üppigen Tropenvegetation nicht mangelt, kann sie nur in einem Umfange geleistet werden, der weit hinter dem in Europa möglichen zurücksteht.

Es sind zahlreiche Bestimmungen der Muskelkraft in den Tropen mittels Dynamometern ausgeführt worden. Däubler (a. a. O.) gibt davon eine Übersicht. Jedoch können diese Ergebnisse nicht ohne weiteres auf die Fähigkeit, berufliche Körperarbeit zu leisten, übertragen werden, da sie sich nur auf die Untersuchung einzelner kleinerer oder größerer Muskelgruppen beziehen und nicht Dauerleistungen, vielmehr meist nur momentane Höchstleistungen darstellen. Exakte Versuche über das Maß von Dauerarbeit in den Tropen, etwa Marschleistungen bei verschiedener Belastung oder Hubarbeit, sind bisher im Tropenklima nicht angestellt worden.

Anhaltspunkte ergeben sich jedoch aus den Erfahrungen des praktischen Lebens.

So wurde in Niederländisch-Indien (Sumatra, 3° n. Br.) festgestellt, daß die Arbeitsleistung der holländischen Soldaten beim Wegebau kaum die Hälfte von der, die sie unter sonst gleichen Umständen in Holland zu leisten hatten, beträgt. Dasselbe gibt Coulomb von französischen Soldaten an, die unter dem 20. Breitengrade auch nur die halben Leistungen vollbrachten, verglichen mit den in ihrer Heimat unter dem 45. Breitengrade.

Dabei steigt die Körpertemperatur schon bei mäßig langer Arbeit und eingelegten Ruhepausen. Däubler fand, daß sie nach 1½stündiger Arbeit, trotz Ruhepausen, um 1—1,85° gestiegen war,

Die Grenze der Arbeitsmöglichkeit wird gesetzt durch Eintreten von Herzklopfen, Beklemmung, starker Schweißproduktion und forcierter Atmung, hervorgerufen durch Überwärmung infolge mangelhafter Wärmeregulierung.

Ganz anders verhalten sich die Eingeborenen. Deren Arbeitsfähigkeit ist bei weitem höher, entsprechend einer viel weitergehenden Fähigkeit ihre Körperwärme konstant zu erhalten.

So wird berichtet[1]), daß beim Bau der Kongoeisenbahn die europäischen Aufsichtsbeamten trotz ganz leichter Arbeit krank wurden unter Steigerung ihrer Körpertemperatur um 1—1,5°, während die schwer arbeitenden Schwarzen gesund blieben. Ebenso gibt F. Plehn für Kamerun an, daß nach seinen Erfahrungen ein Steigen der Körperwärme durch Arbeit bei den Europäern anzunehmen sei, während er bei 6 Eingeborenen, die mit 20 kg Belastung marschiert waren, nur eine sehr geringe Beeinflussung der Körperwärme feststellen konnte. Auch Däubler fand, daß nach zweistündigem Marschieren des Morgens die jüngeren europäischen Soldaten angegriffen waren, die eingeborenen dagegen vollkommen frisch. Dabei zeigten letztere eine trockene Haut, keinen ausgesprochenen Durst, während bei den europäischen Soldaten — bei gleicher Bekleidung und gleicher Belastung — die Uniform durchschwitzt war; mehr bei den jüngeren, weniger bei den älteren.

Es besteht somit eine beträchtliche Verschiedenheit zwischen Europäern und Eingeborenen in den Tropen, die auf Unterschiede in der Wärmeregulierung des Körpers bezogen werden muß. In bezug auf letztere sind die Eingeborenen gegenüber den Eingewanderten erheblich bevorzugt, ohne daß heute schon eine vollkommen genügende Erklärung für diesen Gegensatz gegeben werden könnte. Im einzelnen

[1]) Zitiert bei Däubler a. a. O.

wird auf die Verhältnisse der Wärmeregulierung im Abschnitt 5 eingegangen werden.

Gegenüber den vorstehend mitgeteilten Beobachtungen, mit denen alle Erfahrungen über das Leben in den Tropen übereinstimmen, glaubt Knipping[1] auf Grund von Feststellungen während einer Reise in die Tropen den Satz aufstellen zu können, daß „kein ernsthafter Unterschied bei Europäern und Eingeborenen in der Eignung zu körperlicher Arbeit in den Tropen besteht“ Er behauptet dies auf Grund dessen, daß der Umfang der möglichen Arbeitsleistung durch das äußere, für Europäer und Eingeborene gleiche, Moment der Wärmeaufnahmefähigkeit der Umgebung gegeben ist.

Auf die Art und die Intensität, in der das Tropenklima auf Europäer wirkt, und in bezug auf die Widerstandsfähigkeit gegen seine Schädigungen sind Alter und Geschlecht von deutlichem Einfluß[2]. Am besten gestellt sind männliche Personen im Alter von 23 bis zu 40 Jahren. Zu junge Leute sind nicht hinlänglich widerstandsfähig, alte Leute nicht mehr elastisch genug, um die Schwierigkeiten des ungewohnten Tropenaufenthaltes zu bestehen. Säuglinge sollen leicht an der Zahnung und auch an Darmkatarrhen zugrunde gehen. Man pflegt deshalb die Kinder in den Tropen erst am Ende des zweiten Lebensjahres zu entwöhnen. Die Überlebenden sollen meist sehr kräftig sein.

Kinder, die mit 7 oder 8 Jahren in die Tropen kommen, werden leicht anämisch, erkranken auch leicht an Malaria, so daß eine Rückkehr in die Heimat notwendig wird. Umgekehrt scheinen Greise gegenüber der Malaria eine besondere Widerstandsfähigkeit zu besitzen. Für Frauen ist das Tropenklima schädlicher als für Männer: sie werden besonders leicht nervös und blutarm, sie magern ab, leiden an Menstruationsstörungen, wohl auf Grundlage von Gebärmuttererkrankungen, und ein großer Teil wird steril. Häufig sind Aborte, häufig auch sollen Säugende die Milch verlieren (Schellong).

Auf eine Funktion muß zum Schluß noch eingegangen werden, deren normales Verhalten für das Wohlbefinden wichtig ist, die aber sehr häufig in den Tropen in individuell verschiedenem Maße krankhaft verändert ist, das ist der Schlaf.

Die Erfahrung ist allseitig gemacht worden, daß bei den in den Tropen lebenden Europäern der Schlaf gestört ist. Das Einschlafen erfolgt schwerer als normal, und der Schlaf selbst ist nicht ruhig und tief, wie er es bei den Eingeborenen ist, vielmehr leise und wird leicht unterbrochen. Geringe akustische Reize genügen schon zum Erwachen zu führen. Nicht selten besteht Agrypnie.

Die Störungen des Schlafes wirken nun ihrerseits wieder auf das körperliche und seelische Verhalten zurück. Sie führen zu körperlicher Schwäche, zu verminderter Arbeitslust, geistiger Abspannung, zu nervöser Reizbarkeit, sie steigern also die Schädigungen, die das Klima selbst schon auszulösen pflegt. Die klimatischen Verhältnisse sind auch die Ursache der Schlafstörung, nämlich die auch des Nachts herrschende Hitze und hohe Luftfeuchtigkeit. Kühlt sich doch die Luft nur um wenige Grade gegen ihre Tagestemperatur ab. Dazu kommt als schädigendes Moment die durch beides hervorgerufene Schweißabsonderung. Auch im Schlafe wird von den Europäern in den Tropen reichlich Schweiß produziert.

Daß hohe Temperaturen den Schlaf zu beeinträchtigen vermögen, ist eine Erfahrung, die auch in unseren Breiten in heißen Sommern gemacht werden kann. Der Zusammenhang ist wohl der, daß von der warmen, blutreichen, schwitzenden

---

[1]) H. W. Knipping, Arch. f. Schiffs- und Tropenhyg. 27, 169 (1923).

[2]) Vgl. dazu Schellong in Weyls Handb. d. Hyg. 1, 1 S. 339 (1894).

Haut sensible Erregungen zum Großhirn geleitet werden, die es in einem gewissen Erregungszustande halten. Schlaf tritt aber am ehesten ein, wenn das Zentralnervensystem von möglichst wenigen sensiblen Erregungen getroffen wird.

Es ist auch anzunehmen, daß diese Erregungen, und wohl auch die klimatischen Verhältnisse als solche, zu Änderungen der Blutversorgung des Hirns führen und daß die gegenüber der Norm geänderten Hirnzirkulationsverhältnisse mit den Störungen des Schlafes in Beziehung stehen. Daß Änderungen in der Blutzirkulation bei an Schlaflosigkeit leidenden Europäern in den Tropen bestehen, scheint aus Versuchen hervorzugehen, in denen gegenüber der Blutdrucksenkung, die sonst im Schlafe eintritt, in den Tropen eine Blutdrucksteigerung in den peripherischen Arterien bei den an Schlaflosigkeit leidenden Europäern vor dem Einschlafen gefunden wurde (Däubler).

Die Insomnie kann, wenn sie sonst Gesunde betrifft, durch kalte, abends genommene Bäder, die genügende Wärmeentziehung bewirken, bekämpft werden. Die Erfahrung hat jedoch gelehrt, daß vielfach Neurastheniker von Schlaflosigkeit befallen werden, und daß die Insomnie bei diesen schwer zu bekämpfen ist. Die Kranken greifen dann zu Schlaf- und Betäubungsmitteln, und deren gewohnheitsmäßiger Gebrauch führt zu weiteren Schädigungen der Gesundheit, die indirekt den klimatischen Einflüssen zur Last fallen.

Die Frage ist nun, auf welchen Wegen im einzelnen die geschilderten Wirkungen zustande kommen. Dazu bedarf es der Kenntnis der Wirkungen des Tropenklimas auf die einzelnen Körperfunktionen.

3. Wirkung auf die Atmung, auf das Blut und auf den Kreislauf.

a. Verhalten der Atmung.

Man hat früher die Atmung im Tropenklima von dem Gesichtspunkte aus betrachtet, ob sie wohl als ein Hilfsmittel für Verbesserung der Wärmeregelung des Körpers aufgefaßt werden könnte. Das würde der Fall sein, wenn das in der Zeiteinheit geatmete Luftvolumen besonders groß wäre, größer als in anderen Zonen. Mit der gesteigerten Lungenventilation würde eine vermehrte Wasserdampfabgabe von den Lungen verbunden sein, und diese würde eine vermehrte Wärmeentziehung vom Körper bedeuten.

In älteren Mitteilungen findet man auch die Angabe, daß bei den malaiischen Eingeborenen in Niederländisch-Indien die Atmungen häufiger und ausgiebiger erfolgen als beim Europäer, ohne daß zahlenmäßige Angaben gemacht werden[1]). Angenommen selbst, daß diese Angaben zu Recht bestehen, würde doch der Einfluß, den die gesteigerte Atmung auf die Wärmeregulierung des Körpers hat, nur sehr unbedeutend sein können. Aber dieser Angabe stehen andere, ihr widersprechende, gegenüber. So sollen nach Jousset[2]) die Atembewegungen zwar häufiger, aber weniger tief sein; die Zahlen für die Tiefe und damit für die Atemgröße können aber unmöglich richtig sein. Er fand für Franzosen in Europa:

Atemfrequenz 16, Tiefe 100 ccm, das sind 1600 ccm,

in den Tropen:

„ 18, „ 85 „ „ „ 1530 „

[1]) Däubler, Über die Wirkungen des Tropenklimas usw. B. kl. W. S. 128 (1888).
[2]) Jousset, Traité de l'acclimatement etc. Paris 1890.

Dasselbe Verhalten findet sich bei Rattray[1]) für Engländer angegeben. In

Europa: 15 Atemzüge pro Minute, Atemvolumen 4,1 l,
Tropen: 16,8 „ „ „ „ 3,8 l.

Bei Rattray würde die Abnahme des Atemvolumens in den Tropen etwa 7½% betragen.

Eine noch höhere Atemfrequenz, als sie Europäer in den Tropen aufweisen, fand Däubler bei den dortigen Eingeborenen. Im Mittel aus 220 Zählungen an Malaien auf Java ergaben sich 20,6 Atemzüge pro Minute, im Mittel von 180 auf Sumatra 20,3; 300 Holländer und Deutsche dagegen atmeten im Mittel 19mal in der Minute.

Aber neuere genaue Untersuchungen haben ergeben, daß keinerlei wesentliche Unterschiede der Atmung zwischen Europäern, sei es in Europa, sei es im Tropenklima, und tropischen Eingeborenen bestehen.

Sie rühren von Eijkmann her und sind an zahlreichen Personen mit modernen Methoden (Gasuhr) ausgeführt.

Hier seien nur die Mittelwerte von Eijkmann wiedergegeben.

Tabelle 1.

	Anzahl der Untersuchten	Körpergewicht kg	Atemfrequenz pro Minute	Atemgröße Liter	Pro Minute CO_2-Ausscheidung ccm	Pro Minute O_2-Verbrauch ccm	O_2-Verbrauch, berechnet auf 64 kg Körpergewicht pr. Min. ccm
Eingeborene	12	50,4	14,2	5,8	188,2	214,0	251,5
Europäer (mehrere Jahre i. d. Trop.)	11	68	15,6	5,9	199,2	253,1	245,7

Die Tabelle zeigt, daß Atemfrequenz und Atemgröße fast vollkommen übereinstimmen. Diese Übereinstimmung bezieht sich zunächst nur auf die Eingeborenen und die akklimatisierten Europäer in den Tropen. Aber die in Europa selbst gefundenen Werte weichen von diesen in keiner Weise ab, so daß also hinsichtlich der Atmungsform und der Atemgröße keinerlei durch das Klima bewirkte Unterschiede vorhanden sind.

Neueste von Knipping[2]) mitgeteilte Beobachtungen an 6 sowohl in Europa, wie in den Tropen untersuchten Personen ergeben teils eine — individuell sehr schwankende — Zunahme, teils eine Konstanz des Atemvolumens und, im Gegensatz zu allen sonstigen Erfahrungen, eine mehr oder weniger starke Frequenzabnahme.

Die letzten Stäbe der vorstehenden Tabelle enthalten die Ergebnisse der Bestimmung des Gaswechsels bei Körperruhe, also des Erhaltungsumsatzes. Auch dieser zeigt eine vollständige Übereinstimmung zwischen Eingeborenen und akklimatisierten Europäern. Berechnet man Mittelwerte für Europa, ebenso wie in der Tabelle auf ein Körpergewicht von 64 kg bezogen, so kommt man auch für den Gaswechsel zu einem vollkommen gleichen Wert, nämlich zu 250,3 ccm.

Auf den Gaswechsel wird im nächsten Abschnitt, im Zusammenhang mit dem Gesamtstoffwechsel, nochmals eingegangen werden.

Ebenso wie das Atemvolumen bei normaler ruhiger Atmung zeigt auch der maximale Atmungsumfang, die sog. Vitalkapazität, keinerlei Unterschiede im gemäßigten und im tropischen Klima.

---

[1]) Rattray, Proceed. royal soc. 1870.
[2]) H. W. Knipping, Zeitschr. f. Biol. 78, 259 (1923).

Versuche hierüber teilt Däubler[1]) mit. Sie sind an 46 Malaien von im Mittel 1,65 m Körperhöhe und an 110 weißen Soldaten mit im Mittel 1,70 m Körperhöhe ausgeführt. Er fand bei ersteren 2,882 l, bei letzteren 3,045 l.

Reduziert man die an den Malaien gefundene Zahl auf die Körpergröße der Europäer, indem man nach Hutchinson auf je 1 cm Längenunterschied 58 ccm Ventilation in Anschlag bringt, so würde sich die Vitalkapazität bei den Malaien zu 3,172 l stellen.

Mit oder ohne Reduktion sind die Werte für die Vitalkapazität derart, daß Rassenunterschiede daraus nicht entnommen werden können. Auffallend ist nur der geringe Umfang der Vitalkapazität an sich. Für Europa würde bei einer Körperlänge von 165—170 cm eine Kapazität von 3,5—3,7 l zu erwarten sein. — Es fehlen anscheinend noch Versuche, in denen vergleichend an denselben Personen die Vitalkapazität im gemäßigten und im heißen Klima bestimmt wurde.

b. Das Verhalten des Blutes.

Mehr als über die Atmung liegen zuverlässige Beobachtungen über das Verhalten des Blutes im Tropenklima vor.

Annahmen allerdings und Hypothesen sind mannigfach ausgesprochen worden. Unter diesen spielte in der Tropenmedizin diejenige eine Rolle, die von der Wasserdampfspannung der feuchtwarmen Tropenluft ausging. Diese liegt höher als im gemäßigten Klima, und da der Barometerdruck hier der gleiche ist wie in den Tropen, muß der Druck der trockenen Luft niedriger sein und damit auch die Sauerstoffspannung der Tropenatmosphäre geringer als in höheren Breiten.

Durch die geringere Sauerstoffspannung der eingeatmeten Luft soll nun die Sauerstoffzufuhr zum Blute beschränkt werden und das sollte zu einer Schädigung des Blutes führen derart, daß es zu anämischen Zuständen, zur sog. Tropenanämie, kommt[2]).

Diese ganze Anschauung ist aber unzutreffend; denn die Verminderung der Sauerstoffspannung ist viel zu geringfügig, um zu Sauerstoffmangel im Blute führen zu können. Die Sauerstoffaufnahme ins Blut geschieht ja nicht proportional der Sauerstoffspannung der eingeatmeten Luft, vielmehr in Abhängigkeit von den Dissoziationsverhältnissen des Sauerstoffhämoglobins, und diese sind derart, daß eine Abnahme der Sauerstoffspannung von im Mittel 758 mm auf im Mittel 728 mm so gut wie keinen Einfluß auf die Sauerstoffbindung durch das Hämoglobin ausübt. Es wird in beiden Fällen zu ca. 95—98% gesättigt.

Zudem ist die Sauerstoffspannung in den Lungenalveolen, auf die allein es doch für den Sauerstoffübertritt ins Blut ankommt, in den Tropen gar nicht niedriger als im gemäßigten Klima. Denn die Alveolenluft hat an beiden Orten die gleiche Temperatur und ist für diese mit Wasserdampf gesättigt, so daß die Sauerstoffspannung in den Lungenalveolen an jedem Orte einem Barometerdruck von etwa 715 mm entsprechen würde, immer noch ausreichend, um das Blut zu mehr als 95% mit Sauerstoff zu sättigen.

Man sollte übrigens meinen, daß, falls wirklich die Sauerstoffaufnahme ins Blut sich in den Tropen verringern sollte, nicht eine Abnahme der Blutzellenzahl, vielmehr umgekehrt eine Zunahme derselben sich ausbilden würde, wie es im Höhen-

[1]) Däubler, B. kl. W. S. 429 (1888).

[2]) Orgéas, La pathol. des races humaines etc. 1886; und Treille, De l'acclimatisation des Européens dans les pays chauds. Paris 1884.

klima (vgl. Kapitel Höhenklima, S. 214) und auch unter pathologischen Zuständen, bei denen es zu Sauerstoffmangel kommt, wirklich eintritt. Eine Hyperglobulie will dementsprechend Marestang[1]) im Blute einiger in die Tropen eingewanderter Europäer festgestellt haben, zugleich mit Steigerung des Hämoglobingehaltes, und er faßt sie als kompensatorischen Vorgang gegen die von ihm noch angenommene Verminderung der Sauerstoffzufuhr auf.

Genaue und an einem ziemlich umfänglichen Material vorgenommene Zählungen ergaben jedoch, daß ein Unterschied in der **Blutzellenzahl** innerhalb und außerhalb der Tropen durchaus keine konstante Erscheinung ist.

So fand Glogner[2]) bei Zählung an 20 über ein Jahr in Indien lebenden, also akklimatisierten Europäern rote Blutzellen in einer Zahl von 4.0 bis 6,0 Millionen, im Mittel 5,06 Millionen im Kubikmillimeter.

Umfassender sind die Untersuchungen von Eijkmann[3]) und van der Scheer[4]). Eijkmanns Werte sind an 15 Malaien und an 53 Europäern, Männern im Alter von 20—40 Jahren, gewonnen. Sie gibt die folgende Tabelle wieder.

Tabelle 2.

Der untersuchten Personen Art	Anzahl	Zahl der Erythrozyten Millionen im cmm	Hämoglobinmenge in Prozent (Fleischl)
Malaien	15	5,2	96,5
Europäer, 2—60 Tage in d. Tropen	18	5,3	96,5
,, 1/4—2 Jahre in d. Tropen	14	5,14	100
,, 2 1/2—14 Jahre i. d. Tropen	21	5,38	100

Van der Scheer fand folgende Zahlen:

Tabelle 3.

Art der untersuchten Personen	Erythrozytenzahl Millionen im cmm	Hämoglobingehalt in Prozent der Norm
Malaien	5,1	97
Europäer, neu eingewandert	4,976	98,3
,, 0—5 Jahre in den Tropen	5,04	95,9
,, 5—10 ,, ,, ,, ,,	5,022	97
,, 10—21 ,, ,, ,, ,,	4,76	97

Die Zahl der roten Blutzellen und die Hämoglobinmenge waren danach bei Eingeborenen, akklimatisierten und noch nicht akklimatisierten Europäern in den Tropen gleich und nicht verschieden von den im gemäßigten Klima gefundenen Werten.

Ob dieses Verhalten ausnahmslos besteht, scheint zweifelhaft. Däubler wenigstens gibt an, daß er bei gesunden Weißen in den Tropen sehr häufig Abnahme von Hämoglobingehalt und Blutzellenzahl gesehen habe. Dabei entsteht allerdings die Frage, ob es sich wirklich um Gesunde gehandelt hat. Plehn[5]) hat an der Kamerun-

[1]) Marestang, Hyperglobulie physiologique des pays chauds. Rev. de médecine 1890 Nr. 6.
[2]) Max Glogner, Virchows Arch. 126 S. 109 (1891).
[3]) C. Eijkmann, Blutuntersuchungen in den Tropen. Virchows Arch. 126 S. 103 (1891).
[4]) van der Scheer, Geneesk. Tijdschr. Nederl. Indie 1890.
[5]) F. Plehn, Die Kamerunküste, Berlin 1898; und B. kl. W. 1899 Nr. 25.

küste ähnliche Beobachtungen gemacht, er bringt sie aber mit Malaria in Verbindung, da die Personen, an denen er starke Abnahme des Hämoglobins und der Blutzellenzahl fand, später Malariafieberanfälle zeigten. Sie befanden sich also gewissermaßen im Inkubationsstadium der Malaria oder litten an einer Art latenter Malaria. In Ostindien dagegen fand auch er keine Veränderungen in der Zellenzahl oder im Hämoglobingehalt des Blutes. An eine sog. genuine, durch das Klima bedingte Tropenanämie glaubt daher auch Plehn nicht.

Hämoglobinbestimmungen an 61 Personen ergaben in Beobachtungen von Knipping (a. a. O.) in Niederländisch-Indien zum Teil die für Europa giltigen Werte, sehr häufig aber geringe Unterwerte. Diese bringt Knipping mit der Gewohnheit in Beziehung, den größten Teil des Tages in geschlossenen Räumen zu verbringen, sich also der direkten Einwirkung der Klimafaktoren zu entziehen.

Auch in der Zahl der farblosen Blutzellen hat Plehn keinen Unterschied zwischen Tropen und gemäßigtem Klima feststellen können. Dagegen scheint nach neueren Untersuchungen von de Langen und Schut die Art der farblosen Zellen in den Tropen von der in Europa verschieden zu sein. Sie geben eine Verschiebung des Leukozytenbildes im Arnethschen Sinne nach links an.

Über die **Blutregeneration** liegt eine Beobachtung von Eijkmann vor. Sie betrifft einen ziemlich ausgebluteten Selbstmörder, der keinerlei Eisenpräparate erhielt, und verlief, wie folgende Tabelle zeigt.

Tabelle 4.

Tage nach dem Blutverlust	Erythrozytenzahl Millionen im cmm	Hämoglobingehalt in Prozent
14	3,62	72
24	4,97	88
34	5,056	96
47	4,908	103
60	5,258	102

Zellenzahl und Hämoglobingehalt sind also in 24—34 Tagen zu den normalen Werten zurückgekehrt und von der fünften Woche ab konstant, das bedeutet zum mindesten keine Verschlechterung.

Exakte und vergleichbare Untersuchungen teilt Knipping mit. 2 Hunde wurden in Europa und in den Tropen durch Pyrodin anämisiert und der Wiederersatz des Hämoglobins in wiederholten Bestimmungen festgestellt. Er ging in den Tropen erheblich schneller vor sich und zwar in gleicher Weise bei Sonnenbestrahlung wie auch bei Schutz vor der Sonne. Die Strahlungsverhältnisse spielen also für die Beschleunigung des Blutwiederersatzes keine Rolle.

Ausgedehnte experimentelle Untersuchungen über das Verhalten der Zahl der roten Blutzellen sind von Sundstroem) an weißen Mäusen durchgeführt worden. Er hielt sie durch mehrere Generationen in einem „künstlichen" Tropenklima, d. h. in einem Kasten, dessen Temperatur um gegen 10° die normalen Zimmertemperaturen übertraf (Mittel 31,8° C), und dessen Luft mit Wasserdampf gesättigt war. Der Raum wurde am Tage künstlich beleuchtet.

Sundström fand bei den Tieren, die den größten Teil ihres Lebens oder von Geburt an in diesem Klima lebten, eine Zunahme der Erythrozyten. Ihre Zahl war bei den Kontrolltieren 10,14 Millionen, bei den im Alter von 3 Wochen in das Hitzeklima verbrachten 11,16, bei den in ihm geborenen 12,10 Millionen. Sundström denkt dabei an eine Eindickung des Blutes.

Die Zahl der farblosen Zellen nahm ab. Gegenüber 7300 bei den Kontrolltieren hatten die in das Hitzeklima verbrachten 6880, die in ihm geborenen erster Generation (zugleich starker

Bestrahlung ausgesetzten) 5550, die der zweiten Generation 5730, die der vierten 4950. Sundström möchte diese fortschreitende Abnahme auf eine Hitzeschädigung der zellbildenden Organe zurückführen.

Die Tatsache, daß nach dem Aufsuchen der Tropen bei allen Europäern eine eigentümliche Hautblässe einsetzt, die sich mit der Dauer des Aufenthaltes mehr und mehr ausprägt, so daß man die Neuankömmlinge schon an ihrem lebhafter geröteten Gesicht soll erkennen können, kann also nicht auf einer Anämie im Sinne einer ausnahmslos erfolgenden Abnahme der Blutzellen beruhen. Zu ihrer Erklärung müssen vasomotorische Vorgänge, die zu einer geänderten Blutverteilung führen, mit herangezogen werden. Um vasomotorische Vorgänge handelt es sich auch, wenn zur Erklärung der abnorm blassen Gesichtsfarbe der Europäer in den Tropen hingewiesen wird auf die Sorgfalt, mit der man die Einwirkung des direkten Sonnenlichtes vermeidet. Wie weit an den Änderungen der Blutverteilung Abweichungen der Herztätigkeit von der Norm beteiligt sind, ist noch fraglich.

Aber die Konstanz der Blutzellenzahl beweist noch nichts für ihre normale Beschaffenheit. Daß Abweichungen des mikroskopischen Bildes nicht selten vorkommen, hat zuerst wohl Plehn nachgewiesen. Er stellte das häufige Vorkommen von körnigen Einschlüssen in den Blutzellen fest, die nach ihrem färberischen Verhalten Kernbestandteile zu sein scheinen. Plehn bringt sie mit Malaria bzw. mit deren Erregern in Verbindung, da er sie nur bei Personen sah, die an Malaria litten oder vor mehr oder weniger langer Zeit gelitten hatten. —

Weitere Untersuchungen beschäftigten sich mit der **chemischen Zusammensetzung des Blutes.** Dabei hat besonderes Interesse der Wassergehalt des Blutes gefunden.

Die Angaben hierüber lauten verschieden. Nur Däubler[1]) gibt an, daß das Blut der Europäer in den Tropen etwas wasserärmer werde und behauptet, daß diese Beobachtung oft gemacht worden sei. Er bringt sie in Verbindung mit der sehr starken Wasserabgabe von der Haut aus. — Demgegenüber hat Glogner[2]) gefunden, daß im Durchschnitt bei 20 über ein Jahr in den Tropen lebenden Europäern das spezifische Gewicht des Blutes 1053,6 betrug, wobei als niedrigster Wert 1047,5, als höchster 1057,5 gefunden wurde. Danach würde das Blut relativ etwas wasserreicher sein als in unseren Breiten. Da, wie oben erwähnt, die Zellenzahl nicht vermindert war, schließt er auf eine Abnahme der Eiweißkörper im Blutplasma.

Weitere Bestimmungen rühren von Eijkmann[3]) her. Er fand im Mittel bei 20 Europäern, die 1 Monat bis 21 Jahre in den Tropen lebten, die Blutdichte zu 1057,4, wobei der niedrigste Wert 1054,4, der höchste 1060,8 betrug; bei 10 Malaien 1057,5, bei einem Minimum von 1055 und einem Maximum von 1060.

Hier zeigt sich also keinerlei Unterschied zwischen den Bewohnern der tropischen Zone untereinander oder gegenüber der außertropischen.

Direkte Wasserbestimmungen bei einzelnen Europäern ergaben einen Wasserprozentgehalt von 77,90 bis 77,98, bei Malaien 77,79%. Gleichlautend sind neuere Ergebnisse von de Langen und Schut[4]). Sie fanden im Mittel 78,2% Wassergehalt des Blutes, mit einem Maximum von 82%, einem Minimum von 76,3%. Die Blutdichte fanden sie wie bei Europäern.

Für unsere Breiten gilt als Mittelwert des Blutwassergehaltes 79,1%. Danach

[1]) Däubler, B. kl. W. 1888 S. 430.
[2]) M. Glogner, Virch. Arch. Bd. 126 S. 126 (1891).
[3]) Eijkmann, Blutuntersuchungen in den Tropen. Virch. Arch. Bd. 126 S. 113 (1891).
[4]) C. D. de Langen und J. Schut, Geneesk. Tijdschr. f. Nederl. Indie 56, 490 (1916).

sind deutliche Unterschiede in der Zusammensetzung des Blutes nicht vorhanden; der geringen Abnahme der Dichte in Glogners Bestimmungen kann eine erhebliche physiologische Bedeutung nicht zukommen.

De Langen und Schut[1]) haben weiter den Kalk-, Cholesterin- und Zuckergehalt des Blutes beim Aufenthalt in den Tropen bestimmt. Kalk- und Cholesterinmenge waren vermindert, letztere auf fast die Hälfte gegenüber den in Europa gefundenen Werten herabgesetzt: 0,88 gegen 1,5—1,75 im Liter. Dagegen wurde der Blutzuckerwert erhöht gefunden. Bei Europäern stellten sie ihn in Europa zu 0,093% im Mittel fest, bei Europäern in Batavia zu 0,16%, bei Eingeborenen zu 0,15%. Bei Tieren (Kaninchen, Meerschweinchen, Hühnern) fanden sie ihn in Europa zu 0,10—0,15%, in Batavia zu 0,16—0,26%.

De Langen und Schut bringen beide Befunde — die Verminderung des Cholesterin- und die Steigerung des Zuckergehaltes des Blutes — mit einer Steigerung der Tätigkeit der Nebennieren und damit erhöhter Reizung des Sympathikus in Beziehung.

c. Verhalten des Blutkreislaufs.

Was die Zirkulationsverhältnisse betrifft, so sei zunächst die **Pulsfrequenz** besprochen. Man muß hier scheiden zwischen ihrem Verhalten bei Personen, die an das Tropenklima gewöhnt sind, sei es lange in den Tropen wohnenden Europäern oder Eingeborenen, und bei Neuankömmlingen.

Was letztere anlangt, so ist häufig eine Zunahme der Pulsfrequenz beobachtet worden, besonders auch während des Überganges in die Tropenzone. Dabei macht es einen Unterschied, ob man aus einem heißen europäischen Sommer oder aus dem Winter in die Tropen kommt. Die Beeinflussung des Pulses ist im letzteren Falle erheblicher als im erstgenannten.

Eine Reihe von Vergleichswerten teilt Plehn mit[2]):

Tabelle 5.

Person	Pulsfrequenz		Bemerkungen
	Mittelmeer	Rotes Meer	
1. Stewart	70	80	{ 58 Messungen im Mittelmeer
2. B.	66	78	{ 39 Messungen im Roten Meer
3. S.	76	80	
4. W.	73	73	
5. B.	70	75	

Bei Plehn stieg die Pulsfrequenz von 74 auf 79. Neuhauss beobachtete an sich selbst eine Pulsfrequenzsteigerung von 57 auf 66, gleichfalls beim Übergang in die Tropen.

Jedoch stellt die Konstanz der Person 4 der vorstehenden Tabelle keine vereinzelte Ausnahme dar. In einer Arbeit über den Stoffwechsel der Europäer in den Tropen, auf die im folgenden Abschnitt ausführlich eingegangen werden wird, berichten Caspari und Schilling[3]) die Pulsfrequenzen zweier Europäer, von denen der eine zum ersten Male die Tropen aufsuchte, einerseits kurz nach ihrer Ankunft in Westafrika, andererseits nach einem 5—8monatigen Aufenthalt daselbst. Die Mittelwerte des Pulses, die früh vor dem Aufstehen und abends nach dem Aufsuchen des Bettes festgestellt wurden, bringt die folgende Tabelle.

---

[1]) De Langen und Schut, ebenda 58 S. 336 (1918).
[2]) Plehn, a. a. O., S. 78.
[3]) Caspari und Schilling, Zschr. f. Hyg. u. Infektionskrankh. Bd. 91 S. 57 (1920).

Tabelle 6.

Person	Ort	Pulsfrequenz morgens	Pulsfrequenz abends	Bemerkungen
Schilling	Berlin (Ruhe)	63	73	Am Tage relative Ruhe
	Berlin (Arbeit)	68	75	Am Tage Marscharbeit
	Kpeme	63	79	Westafrikanische Küste. Bald nach der Ankunft
	Topli	68	84	20 km von der Küste; 30 m ü. M. 5 Monate nach Ankunft in den Tropen
Jaffé	Berlin (Ruhe)	62	68	Am Tage relative Ruhe
	Berlin (Arbeit)	61	77	Am Tage Marscharbeit
	Kpeme	65	73	Westafrikanische Küste. Bald nach der Ankunft
	Sokodé	60	70	Im Innern; 410 m ü. M. 8 Monate nach Ankunft in den Tropen

Die Morgenwerte, die am sichersten der vollen Körperruhe entsprechen, zeigen wiederum die individuellen Differenzen wie bei Plehn: Zunahme um wenige Schläge bei der einen Person bald nach der Ankunft, keine Zunahme nach etwa 8monatigem Aufenthalt; aber umgekehrt bei der zweiten Person, die in der ersten Zeit des Tropenaufenthaltes keine Pulsvermehrung erkennen ließ.

Die am Abend gezählten Werte liegen dagegen sämtlich höher im tropischen Klima als im gemäßigten. Darin spricht sich wohl die größere Labilität des Nervensystems in ersterem aus. Die Reize, die tagsüber den Puls über seinen Niedrigststand bei Körperruhe emportreiben, wirken im Tropenklima länger nach und lassen den Rückgang zum Minimum langsamer erfolgen als im gemäßigten.

Schneller oder langsamer geht die Steigerung der Pulsfrequenz, wo sie zustande gekommen war, zurück auf die in Europa normalen Werte. Plehn erwähnt diese Tatsache und gibt an, daß bei akklimatisierten Europäern in den Tropen die Pulsfrequenz 65—75 Schläge ausmache. Bei Plehn selbst war nach 6wöchigem Aufenthalt im tropischen Klima der Puls auf seinen Normalwert von 75 zurückgegangen, bei einem Stewart nach einem solchen von 5—6 Wochen von 80 auf 74.

Gut wird der Gang des täglichen Pulsverlaufes und der Einfluß der Akklimatisation auf ihn durch die folgende Kurve beleuchtet, die aus Selbstbeobachtungen von Plehn gewonnen ist.

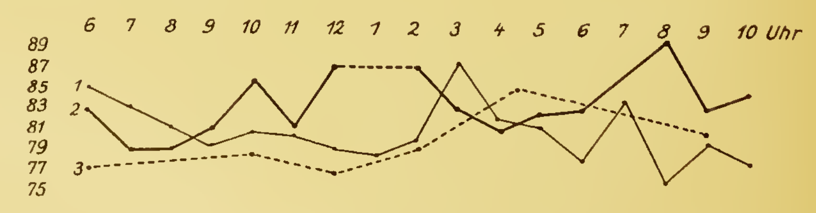


Abb. 1.

1 Puls 1. Tropenreise, 2 Puls in Kamerun März 1893, 3 Puls in Kamerun Juli 1894.

Wie nach Plehns Beobachtungen die Pulszahl der akklimatisierten Europäer mit der in unseren Breiten übereinstimmt, so auch die der eingeborenen Farbigen. Wenigstens fand Plehn an 147 Dahomenegern eine Frequenz von 70 des Morgens und 66-67 am Nachmittag.

Im übrigen lauten die Angaben über die Pulsfrequenz akklimatisierter Europäer nicht eindeutig. Jousset[1]) hatte angegeben, daß sie im Tropenklima erhöht sein solle, während neuere Autoren, wie Rattray[2]) und auch Schellong[3]), letzterer auf Grund der Vergleichung zahlreicher ärztlicher Berichte aus verschiedenen Tropengegenden, zu dem Schluß kommen, daß sie erniedrigt sei.

Aus allem geht jedenfalls hervor, daß eine wesentliche Beeinflussung der Pulszahl durch das Tropenklima nicht zustandekommt, wenn man von der — allmählich wieder abklingenden — Wirkung eines schnellen Überganges in die Tropen absieht.

In zweiter Linie wurde dem **Verhalten des Blutdruckes** Beachtung geschenkt.

Er scheint zuerst von Plehn[4]) untersucht worden zu sein. Plehn bediente sich des Bachschen Sphygmomanometers und bestimmte den Druck in der Art. temporalis superficialis dextra. — Er findet eine Herabsetzung des Blutdruckes, die er für eine der konstantesten physiologischen Wirkungen des Tropenklimas hält, die zudem nicht etwas Vorübergehendes darstellt, vielmehr mit geringen Schwankungen während der ganzen Dauer des Aufenthaltes in den Tropen erhalten bleibt.

Im Mittel fand Plehn bei einer Reihe von Europäern eine Blutdrucksenkung um 7,5 mm Hg, wobei sich individuelle Unterschiede zwischen 1 und 16,7 mm ergaben.

Bei längerem Aufenthalt scheint ein leichtes Wiederansteigen stattfinden zu können, jedoch tritt nach den vorliegenden Beobachtungen eine Rückkehr bis zu den alten Werten des gemäßigten Klimas nicht wieder ein.

Plehn bezieht die Blutdruckherabsetzung auf die starke Erweiterung der Hautkapillaren, die sich im Tropenklima ausbildet.

Der von Plehn benutzte Blutdruckmesser gibt keine sehr zuverlässigen Werte, Bestimmungen, die Knipping mit dem sichereren Riva-Roccischen Apparate ausführte, gaben die gleichen, nur meist noch ausgeprägteren Resultate beim Übergang in die Tropen. Auch nach Knippings Angabe scheint allmählich ein Wiederansteigen stattzufinden. Die blutdrucksenkende Wirkung war gleich stark bei Seeoffizieren und bei Heizern und Stewards, so daß die direkte Sonnenbestrahlung allein nicht für sie verantwortlich gemacht werden kann. Knipping denkt, nach dem Vorgange Kestners (vgl. Allgem. Klimatophyrol S. 46) an eine chemische Wirkung durch in der Tropenatmosphäre enthaltenes Stickoxydul.

Entgegen diesen Ergebnissen wird von manchen Autoren eine Steigerung des Blutdruckes angenommen[5]). Sie wird mit einem Krampf der Haut rterien in Zusammenhang gebracht, der seinerseits die Hautblässe in den Tropen erklären soll. Diese wird jedoch von anderen auch auf die in den Tropen allmählich vor sich gehende Veränderung im Pigmentgehalt der Haut bezogen. Aber, auch wenn der Blutdruck ensprechend Plehns und Knippings Bestimmungen im Durchschnitt gegenüber dem in Europa herabgesetzt ist, so scheint er doch in Zusammenhang mit besonderen Witterungsverhältnissen Steigerungen zu erfahren.

Solche Steigerungen sollen in Perioden besonders hoher Luftfeuchtigkeit auftreten, jedoch ist die hierfür gegebene physiologische Begründung kaum annehmbar[6]).

Zum Schluß sei noch auf eine von vielen Autoren hervorgehobene Beobachtung

---

[1]) Jousset, Traité de l'acclimatement etc. Paris 1840.
[2]) Rattray, Arch. de médec. nav. 1871.
[3]) Schellong, Die Klimatologie der Tropen. Berlin 1891.
[4]) Plehn, Die Kamerunküste. Berlin 1898. S. 50.
[5]) Vgl. v. Brero in Menses Handb. d. Tropenkrankheiten, Leipzig.
[6]) Däubler, Tropenhygiene. Berlin 1900. S. 69.

hingewiesen, die für die Tropen charakteristisch sein soll und mit ihrem Klima in Beziehung gebracht wird, das ist eine häufige **Störung der Herztätigkeit.** Sie äußert sich nach Scheube[1]) in Beschleunigung, Schwäche und Unregelmäßigkeit des Pulses, Herzklopfen, Atembeschwerden und Unruhe. Dabei wird eine Verbreiterung der Herzdämpfung festgestellt. Scheube zieht zur Erklärung verschiedene Umstände heran: Überanstrengungen, Gemütsbewegungen, auch die Malaria; aber er sieht auch in den hohen Lufttemperaturen ein ursächliches Moment.

Weiter geht Martin[2]), der direkt von einer idiopathischen Herzhypertrophie spricht, die sich am linken Herzen häufig bei Europäern in den Tropen finden und von einer erhöhten Arbeitsleistung desselben herrühren soll. Auch Däubler erwähnt, daß bei lange in dem tropischen Küstenklima lebenden Europäern sich allmählich eine Herzhypertrophie ausbildet, die Ventrikel und Vorhöfe befällt.

In nicht ganz klarer Weise wird die zur Hypertrophie führende übermäßige Herzarbeit mit seiner Tätigkeit im Dienste der in den Tropen sehr erschwerten Wärmeregulation zu erklären versucht, wobei jedoch nicht versucht worden ist, den Vorgang in seinen Einzelheiten verständlich zu machen. Die Verbindung von physikalischer Wärmeregulierung (vgl. S. 316 ff.) und Herzhypertrophie muß jedenfalls zweifelhaft erscheinen, solange die Zirkulationsverhältnisse im Tropenklima nicht genauer erforscht sind als bisher.

4. Stoffwechsel und Ernährung im Tropenklima.

Der Stoffwechsel im Tropenklima ist diejenige Funktion, von der man meinte, daß sie durch die klimatischen Faktoren am intensivsten beeinflußt würde.

Man hatte früher die Vorstellung, daß der Stoffwechsel der Tropenbewohner gegenüber dem im gemäßigten Klima herabgesetzt sei, und das sollte sowohl bei den Eingeborenen wie auch bei den die Tropen aufsuchenden Menschen kälterer Landstriche der Fall sein. Man ging dabei von der Anschauung aus, daß im heißen Klima die Wärmeabgabe vermindert sei und dementsprechend die Wärmebildung geringer sein müsse als in weniger warmen Klimaten.

Eine Berechtigung schien diese Ansicht zu erhalten aus der Erfahrung, die man ja auch im gemäßigten Klima in Perioden starker sommerlicher Hitze machen kann, daß der Appetit beeinträchtigt ist und damit die Nahrungs-, d. h. also die Energiezufuhr leidet. Das wurde so aufgefaßt, als ob auch zugleich der Energieumsatz herabgesetzt sei.

Schon die ersten genauen Stoffwechseluntersuchungen zeigten indes, daß eine Einschränkung des Stoffumsatzes im Tropenklima nicht stattfindet.

Es ist zweckmäßig, für die Betrachtung der Stoffwechselprozesse eine Scheidung zu machen zwischen Eingeborenen, lange Zeit in den Tropen lebenden und akklimatisierten Europäern, und erst kurze Zeit in den Tropen sich aufhaltenden Bewohnern. Es wäre sehr wohl möglich, und mancherlei Beobachtungen können so gedeutet werden, daß Eingeborene sich in bezug auf ihren Stoffwechsel anders als Akklimatisierte verhalten, und daß damit ihre größere Fähigkeit das Klima ohne Schaden zu ertragen, zusammenhängt. Wahrscheinlicher ist noch, daß Neuankömmlinge sich anders in ihrem Stoffumsatz verhalten werden, als an das Tropenklima Gewöhnte. Denn der Übergang in eine Umgebung, die die Wärmeverhältnisse des Körpers er-

[1]) Scheube, Die Krankheiten der warmen Länder. 4. Aufl. Jena 1910. S. 1040.
[2]) L. Martin, Ärztl. Erfahrungen über die Malaria d. Tropenländer. Berlin 1889.

heblich beeinflußt, kann entweder schnell einsetzende Veränderungen auslösen, die allmählich rückgängig werden, oder er vermag zwar zunächst die physiologischen Funktionen nicht zu verändern, könnte dann aber zu langsam und allmählich sich ausbildenden Anpassungen der am Wärmehaushalt beteiligten Stoffwechselfunktionen an die neuen Klimaverhältnisse führen.

Den eindeutigsten Einblick in die Stoffwechselenergie der Zellen liefert bis jetzt noch die **Feststellung des Erhaltungsumsatzes.**

Der erste, der ihn an Tropenbewohnern ermittelte, war Eijkmann[1]). Er bestimmte den Erhaltungsumsatz durch Untersuchung des Gaswechsels nach der Zuntz-Geppertschen Methode. Untersucht wurden 12 eingeborene Malaien und 11 Europäer, die alle bis auf einen schon mehrere Jahre in den Tropen gelebt hatten. Die Versuche wurden in Batavia bei einer mittleren Außentemperatur von 26,6° C vorgenommen.

Eijkmann fand einen Sauerstoffverbrauch von im Mittel 251,5 ccm bei den Eingeborenen, von 245,7 ccm, auf gleiches Körpergewicht berechnet, bei den Europäern. Personen gleichen Gewichtes würden, wie Eijkmann aus den in der Literatur vorliegenden Zahlenangaben berechnete, bei niedriger Umgebungstemperatur in Europa 250,3 ccm Sauerstoff verbrauchen.

Der Erhaltungsumsatz ist demnach in den Tropen bei Eingeborenen und akklimatisierten Europäern der gleiche wie im gemäßigten Klima.

Unsicherer für die Feststellung des Klimaeinflusses auf den Stoffwechsel ist die Ermittlung des 24stündigen Gesamtumsatzes; denn hierfür spielt der Umfang der körperlichen Betätigung eine maßgebende Rolle und diese ist nicht mit vollkommener Sicherheit abzuschätzen. Um zu einigermaßen zutreffenden Schlüssen zu kommen, muß die Beschäftigung der untersuchten Personen bekannt sein, und dürfen nur Personen mit annähernd gleicher Tätigkeit im Tropenklima und im gemäßigten Klima miteinander verglichen werden.

In umfassender Weise nahm solche Untersuchungen gleichfalls Eijkmann[2]) vor. Bei 7 akklimatisierten Europäern und 5 Malaien stellte er die Art und Menge der frei gewählten Kost an mehreren aufeinanderfolgenden Tagen fest, einer Kost, die der gewohnten entsprach. Dabei fand er, daß im Mittel aufnahmen die Europäer (mittleres Gewicht 65,4 kg) 2470 Kal. brutto, wovon sie 2349 Kal. resorbierten, die Malaien (bei 50 kg Körpergewicht im Mittel) 2512 Kal. brutto, davon resorbiert 2349.

Die Tätigkeit der Europäer entsprach nach der Rubnerschen Aufstellung dessen Arbeitskategorie I (Arzt, Hausverwalter), für die Rubner für Europa 2631 Kal. brutto und 2445 resorbierte Kalorien berechnet. Die Malaien gehörten ihrer Arbeit nach zu Rubners Arbeitskategorie II, für die er 3120 Kal. brutto bzw. 2868 resorbierte Kalorien angibt. — Für das Kilogramm Körpergewicht brauchten die Europäer in den Tropen 33 Kal., während in Europa unter ähnlichen Arbeitsbedingungen gegen 35 Kal. gefordert werden.

Daß bei entsprechend vermehrter Arbeit auch noch größere Nahrungsmengen von Europäern aufgenommen und verarbeitet werden können, ergibt sich aus Eijkmanns Beobachtungen an auf Java stationierten europäischen Soldaten, die aus gemeinsamer Küche gespeist wurden. Sie nahmen auf im Mittel pro Tag: 136,2 g Eiweiß, 79,0 g Fett und 496,3 g Kohlenhydrate. Der Brennwert der Nahrung betrug

[1]) C. Eijkmann, Über den Gaswechsel der Tropenbewohner usw. Pflüg. Arch. Bd. 64 S. 57 (1896).

[2]) C. Eijkmann. Zur Kenntnis des Stoffwechsels der Tropenbewohner. Virch. Arch., Bd. 133, 101 (1893).

3300 Kal. — Diese Zahlen sind wichtig mit Rücksicht auf später zu besprechende Angaben von Ranke.

Danach ist auch aus diesen Untersuchungen eine regulatorische Herabsetzung der Wärmebildung bzw. des Stoffverbrauches bei den leichte Arbeit leistenden Europäern und auch — unter Berücksichtigung des geringen Körpergewichtes — bei den etwas schwerere Arbeit leistenden Eingeborenen nicht zu entnehmen.

Gegenüber diesen Eijkmannschen Ergebnissen fand auffallend niedrige Werte, wiederum beim Aufenthalt auf Java, bei sich selbst Glogner[1]). Bei einem Gewicht von 71 kg war sein Verbrauch nur 2118 Kal. Aber in Europa war er noch erheblich niedriger; denn hier betrug er bei 80 kg Gewicht nur 2038 Kal.

Weitere Untersuchungen rühren von Caspari und Schilling[2]) her. Sie sind darum besonders wichtig, weil sie vergleichend an denselben Personen den Umsatz in Europa und in den Tropen ermittelten, und in letzteren nach verschieden langem Aufenthalt, und weil sie nicht mit einer Berechnung der Nahrung sich begnügten, vielmehr eine genaue Kenntnis derselben durch Analyse hatten.

Auch bei ihnen fand sich kein Einfluß des Tropenklimas im Sinne einer Einschränkung des Umsatzes, und zwar weder nach geschehener Akklimatisation, noch unmittelbar nach dem Übergang ins tropische Klima.

Die Versuche wurden zunächst in Berlin bei 2 Personen nach allen Regeln des Stoffwechselversuches ausgeführt, d. h. bei stets an Menge gleicher, auf ihren Eiweiß-, Fett- und Energiegehalt bekannter Nahrung. Dann folgten Versuche an der westafrikanischen Küste (in Kpeme), also im feuchtwarmen Tropenklima, und zwar kurz nach dem Eintreffen dortselbst, und weitere 5—7 Monate nach der Ankunft. Letztere Versuchsreihe wurde bei der einen Person nicht an der Küste, vielmehr im Innern in 410 m Höhe (in Sokodé) ausgeführt, wo das Klima trockener, mehr Steppenklima war.

Hinzu kam eine gleichzeitig angestellte Versuchsreihe an einem akklimatisierten Europäer, gleichfalls nahe der Küste (in Topli).

Die Lufttemperaturen betrugen während der ersten Tropenversuchsreihe im Maximum 34,3° C, im Minimum 23,8° C, während der zweiten 32,3° und 22,7° C.

Es entsprach nun der Energienmsatz in den Tropen ganz dem in Berlin, bei Körperruhe sowohl wie bei mäßiger Körperarbeit. Er betrug bei der Versuchsperson J.

in Ruhe Berlin 30,4 Kal. pro Körperkilogramm
„ „ Afrika 30,3 „ „ „

Da die Versuchsperson sich im Körper- und Stickstoffgleichgewicht befand, entspricht der Energieumsatz zugleich dem Energiebedarf, der danach bei Körperruhe unter beiden Klimaten absolut gleich war.

Verglichen wurde auch der **Bedarf an Energie für Muskelarbeit**, die durch Marschieren oder Reiten geleistet wurde. Auch in dieser Beziehung fanden sich keine deutlichen Unterschiede: bei gleicher Arbeit war der Verbrauch in beiden Klimaten annähernd der gleiche. Er betrug

bei Arbeit Berlin 37,9 Kal. pro Körperkilogramm
„ „ Afrika 34,8 „ „ „

---

[1]) Glogner, Mein Nahrungsbedürfnis in den Tropen und in Europa. Arch. f. Schiffs- und Tropenhygiene Bd. 13 S. 169 (1909).

[2]) Caspari und Schilling, Über den Stoffwechsel der Europäer in den Tropen. Zschr. f. Hyg. Bd. 91 S. 57 (1920).

Gegenüber diesen Befunden gibt neuerdings Ozorio de Almeida[1]) an, daß der Erhaltungsumsatz im tropischen Brasilien niedriger als in der gemäßigten Zone liege. Er untersuchte den Gaswechsel von 10 gesunden akklimatisierten Personen. Er fand bei ihnen für den Quadratmeter Oberfläche und Stunde einen Energieumsatz von im Mittel 30,35 Kal. (Minimum 25,67, Maximum 37.56 Kal.), während er bei den zum Vergleich herangezogenen Nordamerikanern im Mittel bei etwa 39,5 Kal. pro Quadratmeter und Stunde liegt. Die Differenz würde also mehr als 30% ausmachen. — Weitere Untersuchungen an 10 brasilianischen Negern[2]) ergaben einen mittleren Umsatz von 32,86 Kal., das sind 17,3% weniger als bei den Nordamerikanern.

Der Mittelwert der Bestimmungen in beiden Versuchsreihen ist 31,6 Kal., das sind 20,4% weniger als im gemäßigten Nordamerika. Der Minderverbrauch betrifft also sowohl die weiße wie die farbige Rasse.

Es ist Sache weiterer Untersuchungen, festzustellen, wieweit die gefundenen Unterschiede mit solchen der Körperbeschaffenheit zusammenhängen. Betont muß jedenfalls werden, daß an Bewohnern der gemäßigten Zone nicht selten die gleichniedrigen Umsatzwerte gefunden werden wie von Ozorio de Almeida.

Endlich liegen von Knipping (a. a. O.) Bestimmungen des Erhaltungsumsatzes vor an Europäern beim Übergang in die Tropen und bei längerem Aufenthalt daselbst, sowie an Eingeborenen. Knipping findet in den ersten Wochen des Aufenthaltes eine Steigerung des Umsatzes, der dann allmählich wieder zu sinken scheint. Nach langem Aufenthalt stellte Knipping, ebenso wie bei den Europäern, Werte fest, die bei einem Teile der Untersuchten mehr oder weniger unter den für das gemäßigte Klima angesetzten Normalwerten lagen.

Der Schluß, den Knipping aus seinen Versuchen zieht, daß der Erhaltungsumsatz bei Europäern nach jahrelangem Tropenaufenthalt und bei den tropischen Eingeborenen (ceteris paribus) niedriger liegt als in der gemäßigten Zone, kann vorläufig nicht anerkannt werden, da er bei einem Teil der Untersuchten nicht zutrifft, und da die bei einem anderen Teil gefundenen niedrigen Umsatzwerte durch konstitutionelle Verhältnisse (Abnahme der Muskelmasse durch das tropische Leben) erklärt werden könnten.

Neben dem Gesamtumsatz wurde auch wiederholt dem **Eiweißumsatz im Tropenklima** Aufmerksamkeit geschenkt, wobei es sich um die Frage handelt, ob bei freigewählter, gewöhnlicher Kost und unter Berücksichtigung der sozialen Stellung der Untersuchten etwa deutliche Abweichungen im Eiweißabbau sich ergeben, die dem Klima zur Last gelegt werden müßten.

Eine der ältesten Angaben stammt von Mourson[3]), der seine Stickstoffausscheidung auf einer Reise von Frankreich nach Saigon und zurück bei angeblich gleichbleibender Lebensart und Nahrung bestimmte. Er will gefunden haben, daß sie in den Tropen bedeutend abnahm. Sie betrug bei einer Temperatur von 12,5° 22,04 g Harnstoff, bei einer Temperatur von 26,4° 15,57 g Harnstoff. Mangels genauer Bestimmung der Nahrung müssen die Schlüsse auf einen Zusammenhang zwischen Außentemperatur und Stickstoffausscheidung unbewiesen erscheinen.

Auch Glogner[4]) kam zu dem Schluß, daß im Tropenklima der Eiweißumsatz abnorm herabgesetzt sei und bei den dort lebenden Europäern um so mehr, je länger sie sich in den Tropen aufhalten. Er untersuchte die Stickstoffausscheidung bei 25 seit 1—16 Jahren auf Java lebenden europäischen Soldaten, deren Ernährung bekannt war. Die Eiweißzufuhr betrug 117,7 g, die Stickstoffausscheidung nur

[1]) A. Ozorio de Almeida, Journ. de phys. et de path. gén. 18, 713 (1920).
[2]) Derselbe, Ebenda 18, 958 (1920).
[3]) Mourson, Arch. de méd. navale T. 36.
[4]) Glogner, Virch. Arch. Bd. 115.

3,92—16,6 g, wobei nur 5 Soldaten mehr als 10 g ausführten. Im Mittel wurden 8,055 g N ausgeschieden, auf das Körpergewicht berechnet 0,10—0,14 g, im Mittel 0,128 g.

Danach müßten, da 117,7 g Eiweiß 18,83 g N entsprechen, im Mittel 10,75 g N von dem aufgenommenen nicht wieder im Harn erschienen sein. Ist diese Annahme schon kaum möglich, so weist Eijkmann noch auf andere kaum annehmbare Ergebnisse bei Glogner hin, so daß dessen Versuchen nicht viel Beweiskraft zukommt.

Eijkmann[1]) selbst hat dann neue Bestimmungen ausgeführt, deren Ergebnis ganz anders war.

Bei Eijkmanns Personen handelte es sich um freigewählte Kost, bei der der Harn mehrerer Tage gesammelt und untersucht wurde.

Die Europäer waren teils kurze, teils längere Zeit in den Tropen, meist junge Ärzte und Apotheker, die Malaien waren Studierende der Medizin.

Von den kurze Zeit erst — 1½—6 Monate — in Batavia lebenden Europäern kamen 6 zur Untersuchung. Die N-Ausscheidung im Harn war im Mittel 14,81 g pro die; pro Körperkilogramm 0,226 g.

Von akklimatisierten, d. h. 1½—19 Jahre in Indien lebenden Europäern wurden im Mittel von 86 Bestimmungen ausgeschieden: 12,802 g N pro die; pro Körperkilogramm 0,193 g.

Die N-Ausscheidung bei 8 Malaien (41 Bestimmungen) betrug im Mittel: 7,817 g pro die; pro Körperkilogramm 0,156 g.

Die Werte für die Europäer liegen ganz auf der Höhe, die bei analoger Nahrung im gemäßigten Klima gefunden wird. Für die der nicht akklimatisierten, die 14,81 g pro Tag ausschieden, möchte Eijkmann an eine abnorme Steigerung denken, da hier bei einzelnen kein Stickstoffgleichgewicht bestand, vielmehr wohl mehr abgegeben als aufgenommen wurde.

Der sehr niedrige Wert der Malaien erklärt sich aus ihrer sehr eiweißarmen Nahrung und ihrem sehr niedrigen Körpergewicht (50 kg im Mittel).

Jedenfalls kommt Eijkmann zu dem Schluß, daß ein abändernder Einfluß des tropischen Klimas auf die Eiweißzersetzung im Körper nicht nachgewiesen werden kann.

Zu demselben Schluß kommen Caspari und Schilling[2]) für ihre beiden Versuchspersonen sowohl beim Übergang in die Tropen, wie bei längerem Aufenthalt daselbst. Der Eiweißumsatz im tropischen Klima war bei ihnen nicht schlechter, als unter gleichen Umständen in Berlin. Jedoch sind ihre Zahlen für diesen Satz nicht direkt beweisend, da die Versuchspersonen sich nicht durchweg in Stickstoffgleichgewicht befanden.

Für die Höhe, auf die der Eiweißumsatz sich einstellt, ist von Wichtigkeit der Umfang der **Eiweißresorption im Darm.** Diese wie auch die Ausnutzung der übrigen Nahrungsbestandteile im Darm ist an den Versuchspersonen von Caspari und Schilling genau ermittelt worden. Es ergab sich, daß die Resorptionsprozesse in den Tropen wie in Berlin verliefen. Wie übereinstimmend Eiweiß, Fett und Nahrungskalorien verwertet wurden, zeigt Tabelle 7 auf S. 309.

Eine ebenso gute Ausnutzung fand Eijkmann[3]) bei einer Reihe akklimatisierter Europäer auf Java. Nämlich für Eiweiß 88,6%, Fett 94,4%, Kohlenhydrate 97,0%, Kalorien 95,0%.

[1]) C. Eijkmann, Der Eiweißbedarf der Tropenbewohner usw. Virch. Arch. Bd. 131 S. 147 (1893).

[2]) Caspari und Schilling a. a. O.

[3]) C. Eijkmann, Virch. Arch. Bd. 133 (1893).

Tabelle 7.

		Ausnutzung von		
		Eiweiß %	Fett %	Kalorien %
Sch.	Berlin (Ruhe)	92,86	97,81	96,92
	Berlin (Arbeit)	91,65	97,51	96,25
	Kpeme	93,20	97,05	96,92
	Topli	88,75	96,56	96,40
J.	Berlin (Ruhe)	92,87	97,67	96,78
	Berlin (Arbeit)	91,50	97,19	95,97
	Kpeme	86,75	96,08	94,98
	Sokodé	89,70	97,57	96,36
L.	Topli	90,60	97,00	96,28

Wesentlich schlechter war sie von Eijkmann bei den eingeborenen Malaien gefunden worden. Hier war sie im Mittel von 6 Personen für Eiweiß nur 76,1%, für Fett nur 83,0%. Nur die Kohlenhydrate wurden normal zu 97,9% ausgenutzt.

Eine schlechte Ausnutzung des Eiweißes stellte Mac Cay[1]) auch an indischen Studenten und an Gefangenen fest.

Es wäre natürlich falsch, schließen zu wollen, daß die Ausnutzung der Nahrung im Tropenklima bei den Eingeborenen mangelhafter sei als bei Zugewanderten. Der Unterschied könnte in der Aufnahme schwerer verdaulicher, d. h. an Rohfaser reicherer Kost seitens der Eingeborenen liegen. Aber dieser Gesichtspunkt kann die schlechtere Nahrungsausnutzung bei den eingeborenen Versuchspersonen Eijkmanns nicht genügend erklären, da diese von dem relativ leicht resorbierbaren Reis lebten. Mitwirkend kommt, worauf Caspari und Schilling hinweisen, für die scheinbar schlechtere Ausnutzung in Betracht die geringe Menge des zugeführten Eiweißes.

Die Eiweißmenge des Kotes, gemäß der ja der resorbierte Eiweißanteil berechnet wird, besteht großenteils aus dem in den abgeschiedenen Verdauungssäften enthaltenen Eiweiß. Wird deren Sekretion durch die aufgenommene Nahrung reichlich angeregt, so wird viel Eiweiß in den Darmausscheidungen erscheinen, und je geringer die Eiweißaufnahme mit der Nahrung ist, um so höher stellt sich anscheinend der nicht resorbierte Anteil, eine um so schlechtere Ausnutzung wird vorgetäuscht.

Die Anschauung von Glogner, der — wie vorstehend erwähnt — eine abnorm herabgesetzte Stickstoffausscheidung mit dem Harn gefunden haben wollte, daß die Beschränkung des Eiweißumsatzes auf einer durch das Tropenklima bewirkten Störung der resorptiven Tätigkeit des Darmes beruhe, ist danach nicht zutreffend.

Eine eigentümliche Abweichung im Stoffumsatz, von der es fraglich ist, ob sie mit dem Klima in Zusammenhang steht, fanden Caspari und Schilling in bezug auf den sog. kalorischen Quotienten des Harns, d. h. das Verhältnis zwischen der im Harn ausgeschiedenen Stickstoffmenge und seinem Brennwert. Dieser betrug in Berlin bei beiden Versuchspersonen 8,8 und 8.2. Er blieb bei der einen im Tropenklima auf 8,4, stieg aber bei der zweiten in der ersten Versuchsreihe auf 9,0, in der zweiten auf 10,2.

Die Höhe des kalorischen Harnquotienten steht nun in Abhängigkeit von der Nahrung. Da hier jedoch die Nahrung gleich blieb, ist eine Ursache für sein Steigen beim Aufenthalt im Tropenklima vorläufig nicht anzugeben. Immerhin muß die Möglichkeit eines Zusammenhanges mit den tropischen Klimafaktoren offengelassen werden.

---

[1]) Mac Cay, Standards of metabolism of Bengalies. Scient. memoirs of the governm. of India Nr. 34. Kalkutta.

Aus den Ergebnissen der bisher mitgeteilten Untersuchungen geht hervor, daß das Tropenklima an sich den Stoffwechsel und die Verdauungsvorgänge unbeeinflußt läßt. Daß das bei gesunden Individuen die Regel ist, wird schon durch die Tatsache bewiesen, daß es auch bei langem Aufenthalt in den Tropen gelingt das Körpergewicht dauernd aufrechtzuerhalten. Dem Tropenklima als solchem kann also ein ungünstiger Einfluß auf die Ernährungsverhältnisse nicht zugeschrieben werden.

Mit diesem Satze im Widerspruch stehen nun Angaben, die Ranke[1]) auf Grund von Selbstbeobachtungen im tropischen Amerika gemacht hat.

Ranke fand nämlich, daß bei ihm Appetit und Nahrungsaufnahme sehr stark abnahmen, so daß es zu einem beträchtlichen Sinken des Körpergewichtes kam. Ranke zieht daraus den allgemeinen Schluß, daß bei längerem Aufenthalt im tropischen Klima die Nahrungszufuhr instinktiv durch entsprechende Verringerung des Appetites eingeschränkt wird, und zwar so weit, wie es die verminderte Wärmeabgabe verlangt. Die erforderliche Einschränkung ist aber eine so beträchtliche, daß sie „eine mehr oder minder hochgradige Unterernährung mit allen ihren gefährlichen Konsequenzen zur Folge“ hat und schließlich zum Tropenmarasmus führt. Die Unterernährung ist nach Ranke eine Anpassungserscheinung an die akuten Gefahren der Tropen.

Denn steigert man absichtlich die Menge der Nahrung über das subjektive Nahrungsbedürfnis hinaus, so bilden sich nach Rankes Angaben krankhafte Zustände heraus: fieberhafte Temperatursteigerungen, Störungen des Allgemeinbefindens, verminderte Widerstandskraft gegen Infektionskrankheiten.

Danach würde der Europäer sich in den Tropen dauernd gewissermaßen zwischen Szylla und Charybdis befinden, zwischen zwei Übeln, deren einem er erliegen müßte.

Ranke zieht aus seiner Anschauung auch den entsprechenden Schluß auf die Verderblichkeit des Tropenklimas auf Angehörige gemäßigter Klimate und hält einen längeren Aufenthalt letzterer in den Tropen für gefährlich.

Der Standpunkt Rankes kann aber nicht als berechtigt anerkannt werden. Eine kritische Betrachtung von Rankes Versuchen ergibt nämlich, daß Rankes Tropenaufenthalt durch Krankheiten gestört war, unter denen als wichtig ein schwerer Magenkatarrh zu nennen ist. Es ist fraglich, ob zu der Zeit, in der die Stoffwechselbeobachtung durchgeführt wurde und in der Appetit und Nahrungsaufnahme unter das zulässige Maß gesunken waren, Ranke sich wieder im Vollbesitz der Gesundheit befand. Denn es ist bekannt, daß Störungen der Verdauungsfunktionen noch lange nach einer schweren Magen-Darmerkrankung anhalten, auch wenn lokale Symptome sich subjektiv nicht mehr bemerklich machen.

Eine zweite Versuchsreihe scheint von Ranke falsch gedeutet zu sein. Er findet nämlich nur einen Umsatz von 26,8 Kal. pro Körperkilogramm und Tag, gegenüber 48 Kal. in Europa. Aber er zieht den Umfang der körperlichen Tätigkeit nicht in Betracht. Im Tropenklima, während der Regenzeit, blieb er meist zu Hause, lag in der Hängematte und schlief. Seine körperliche Tätigkeit war also aufs äußerste eingeschränkt und die von ihm berechnete Kalorienaufnahme würde auch in Europa für das gleiche Maß körperlicher Ruhe ausgereicht haben. Zu bemerken ist schließlich, daß Ranke die Menge der in seiner Nahrung enthaltenen Nährstoffe nicht bestimmt, vielmehr nur errechnet hat.

Mit Rankes Ergebnissen darf also eine Furcht vor den Schädigungen des Tropenklimas nicht begründet werden. Zuzugeben ist nur, daß beim Übergang in heiße

[1]) K. E. Ranke, Über die Einwirkung des Tropenklimas auf die Ernährung des Menschen. Berlin 1900. — Auch M. m. W. Nr. 2 (1905): Über die Abhängigkeit der Ernährung vom Wärmehaushalt.

Klimate bei einzelnen Personen der Appetit sich vermindert, so sehr, daß die Nahrungsaufnahme zunächst den Bedarf nicht mehr deckt. Aber nach maßgebenden Erfahrungen handelt es sich um eine vorübergehende Erscheinung, die keine dauernde Schädigung herbeiführt. Zu scheiden von dieser vorübergehenden Nahrungsbeschränkung durch Appetitmangel ist diejenige, die auf der Einschränkung der Muskelarbeit beruht, die im feuchten Tropenklima unerläßlich ist. Bei sonst vernünftiger Anpassung an die Forderungen, die das Tropenklima stellt, braucht die Nahrungsbeschränkung, wie die praktischen Erfahrungen und die speziellen Feststellungen von Eijkmann, Caspari-Schilling u. a. erweisen, durchaus nicht bis zur Unterernährung zu führen, geht vielmehr der Verminderung der Muskelarbeit parallel, so daß das Körpergewicht erhalten bleibt.

Dies gilt für den gesunden erwachsenen Menschen. Fraglich kann sein, ob in der Regel die genügende Nahrungsaufnahme stattfinden kann unter Umständen, die eine überschüssige Zufuhr erfordern. Das wäre der Fall in der Rekonvaleszenz nach zehrenden Krankheiten und beim wachsenden Individuum. Möglich, daß die so häufig beobachtete mangelhafte Entwicklung und der körperliche Verfall der Nachkommen in heiße Klimate ausgewanderter Europäer auf die mangelnde Fähigkeit genügender Nahrungsaufnahme zurückzuführen ist.

Ein 24stündiger Stoffumsatz gleich dem, der im gemäßigten Klima bei mittelschwerer oder schwerer Arbeit gefunden wird, ist im Tropenklima nicht zu erwarten.

Aber nicht nur die Menge, sondern auch die **Art der Ernährung** muß in Anpassung an das Klima eine andere sein als in unseren Breiten.

Jede Nahrungsaufnahme steigert die Wärmebildung. Während aber bekanntlich diese Steigerung bei Fetten und Kohlenhydraten geringfügig ist, ist sie bei Eiweißzufuhr erheblich. Es sollte also, da die Wärmebildung im Tropenklima möglichst niedrig gehalten werden soll, die Eiweißmenge der Nahrung beschränkt werden zugunsten der stickstofffreien Nährstoffe, und da Fette im heißen Klima leicht Widerwillen gegen ihre Aufnahme erzeugen, bleiben als Grundstock der Ernährung die Kohlenhydrate, denen verhältnismäßig wenig Eiweiß beigegeben werden sollte, entsprechend der Kostnorm der Eingeborenen. Die oben angeführten Werte von Eijkmann — 7,817 g N im Harn = 48,85 g umgesetzten Eiweißes — zeigen, mit wie wenig Eiweiß diese auskommen und dabei gehörten Eijkmanns Versuchspersonen den bessergestellten Ständen an. Die ärmeren nehmen eine noch weniger eiweißreiche Kost zu sich. Jedoch können akklimatisierte Europäer auch in den Tropen sich mit einer Nahrung gesund erhalten, die nur wenig von der in Europa gewöhnlichen abweicht. So setzte sich die Kost bei den von Eijkmann untersuchten Personen zusammen aus 15,4% Eiweiß, 31,3% Fett und 53,3% Kohlenhydraten, während sie bei Personen gleichen Standes in Europa besteht aus 19,2% Eiweiß, 29,8% Fett und 51% Kohlenhydraten.

Schließlich sei noch ein Wort über den **Alkoholgenuß** gesagt. Die Erfahrung lehrt, daß Aufnahme größerer Alkoholmengen in den Tropen schädlicher wirkt als in unserem Klima. Von den Gesichtspunkten, mit denen bei uns seine Zuführung begründet zu werden pflegt, fallen einige im Tropenklima ganz fort. Als Anreger, wenn auch nur vorübergehender, zur Ermöglichung besonderer körperlicher Leistungen, kann er nicht in Betracht kommen, da solche in den Tropen im allgemeinen nicht beansprucht werden. Ebenso kommt seine Tätigkeit, ein lähmendes Kältegefühl zu bannen, nicht in Frage. Im Gegenteil, seine die Hautgefäße erweiternde und das Wärmegefühl steigernde Wirkung kann im heißen Klima nur unerwünscht sein.

Es bleibt seine, die Psyche anregende Wirkung. Aber es ist ja bekannt, wie leicht

die hierfür ausreichende Alkoholmenge überschritten wird und es zum entgegengesetzten Effekt, zur Lähmung, kommt.

Immerhin brauchen kleinere Mengen nicht zu schaden und der Alkoholgenuß braucht nicht vollkommen verboten zu werden. Die Versuchspersonen von Caspari-Schilling nahmen pro Tag bis zu 54 g Alkohol auf, ohne irgendwelche schädlichen Einwirkungen wahrzunehmen.

Im Verlaufe seiner schon erwähnten Untersuchungen an weißen Mäusen, die in einem künstlichen feuchtwarmen Klima gehalten wurden, stellte Sundström[1]) eine Beeinflussung des Wachstums fest. Es wurde bei den Tieren, die 3 Wochen alt in das Hitzeklima verbracht wurden, verzögert. Von den in ihm geborenen kann die erste Generation sich normal entwickeln, die folgenden zeigen ein besonders starkes Zurückbleiben im Wachstum. Die Wachstumshemmung wird durch künstliches Licht verstärkt und ist besonders stark in ruhender Luft, während Luftbewegung diese Wirkung des Hitzeklimas teilweise aufhebt.

Die Fruchtbarkeit eines Mäusestammes braucht sich für mehrere Generationen nicht zu vermindern.

Albinotische Mäuse erhielten beim Aufenthalt in der feuchten Wärme eine Pigmentierung (ebenso wie bei starker Bestrahlung), die anfangs auf bestimmte Rassen beschränkt, später allgemeiner wird. Sundström nimmt an, daß das bei Albinos in geringer Menge vorhandene, die Pigmentierung hervorrufende Enzym durch die Wärme in erhöhtem Maße gebildet bzw. zu erhöhter Tätigkeit angeregt wird[2])

5. Die Körpertemperatur.

Die Einstellung der Körpertemperatur ist das Ergebnis der Fähigkeit, die Eigenwärme unter dem Einfluß wechselnder Wärmezufuhr oder Wärmeentziehung zu regeln. Das Verhalten der Körpertemperatur im Tropenklima gibt deshalb einen Einblick in den Umfang der Wärmeregelung des Körpers gegenüber den dauernd hohen Temperaturen des Tropenklimas und ist aus diesem Grunde bedeutungsvoll.

Die ersten und zahlreichsten Untersuchungen darüber stellte J. Davy[3]) an, der die Körpertemperatur zunächst in England, dann auf einer Reise nach Ceylon an sich und zahlreichen gesunden Personen ermittelte. Die Messung geschah stets unter der Zunge.

Im Durchschnitt betrug sie bei 15,6° Umgebungstemperatur 36,9°, bei 25,6° 37,2°, bei 26,7° 37,6°. — Reynard und Blosville fanden bei 8 Personen im Mittel bei 26—30° Lufttemperatur die Körpertemperatur zu 37,58°, bei 12—17° zu 37,11°. Ebenso fand Rattray bei sich am Äquator (28,9°) eine Temperatursteigerung gegenüber England (18,3°) von 0,45° (37,25 zu 36,80°), und Brown-Séquard sah bei 8 Personen im Mittel die Körpertemperatur von 36,8° auf 37,9° steigen bei Anstieg der Außentemperatur von 8 auf 29,5°.

Gleichfalls Steigerungen, aber geringeren Umfanges, stellte fest Crombie in Bengalen im Betrage von 0,23°, wobei er zugleich angibt, daß mit der Dauer des Aufenthaltes in den Tropen die Temperatursteigerung gegenüber dem gemäßigten Klima sich vermindere. Ähnlich geringe Unterschiede konnten Eydoux und Souleyet feststellen und ebenso Neuhauß[4]). Neuhauß fand seine Rektaltemperatur in Europa bei 8—18° Außentemperatur zu 36,65°, bei 22—31° in den Tropen zu

[1]) E. S. Sundström, Amer. Journ. of physiol. 60, 397 (1922).

[2]) Derselbe, ebenda 60, 425 (1922).

[3]) J. Davy, Philosoph. transact. 1839, 1845 und 1850. Die hier gemachten Angaben sind z. T. bei Rosenthal i Hermanns Handb. d. Physiol. IV, 2 (Leipzig 1882), ausführlicher bei Tigerstedt, Nagels Handb. d. Physiol. Bd. I (Braunschweig 1909) zusammengestellt.

[4]) Neuhauß, Virch. Arch. f. path. Anat. Bd. 134 S. 365 (1893).

36,9°; Plehn bei 12—16° Umgebungstemperatur im Mittel 36,7°, bei 20—28° (Indischer Ozean): 37,2°.

Demgegenüber gibt Boileau[1]) an, daß gesunde Menschen im Tropenklima die gleiche Körpertemperatur haben wie im gemäßigten; Glogner[2]) fand, daß Maximum und Minimum der Körperwärme in beiden Klimaten auf gleicher Höhe liegen, und auch Eijkmann[3]) konnte feststellen, daß bei gesunden, in den Tropen lebenden Europäern und bei Malaien die Achselhöhlentemperaturen nicht über 37°, häufig darunter liegen. Im Mittel sehr zahlreicher Messungen fand Eijkmann bei Europäern 37,02°, bei Malaien 36,93°.

Schellong[4]) gibt an, daß man nicht selten Körpertemperaturen von 36,0—36,5°, auch unter den Eingeborenen, antrifft, und Plehn[5]) findet als Mittel aus 50 Messungen bei Liberia- und Kamerunnegern eine Morgentemperatur von 36,4° in axilla.

Das mitgeteilte Zahlenmaterial weist darauf hin, daß ein Unterschied in der Körpertemperatur besteht zwischen Neuankömmlingen und bereits Akklimatisierten oder Eingeborenen. Bei ersteren liegt häufig die Körpertemperatur höher als bei letzteren.

Ein Beispiel für den Einfluß der Akklimatisation bringt Plehn durch Beobachtungen an sich selbst in der folgenden Kurve, die den täglichen Gang der Körpertemperatur in Kamerun vor und nach der Anpassung an das Klima wiedergibt.

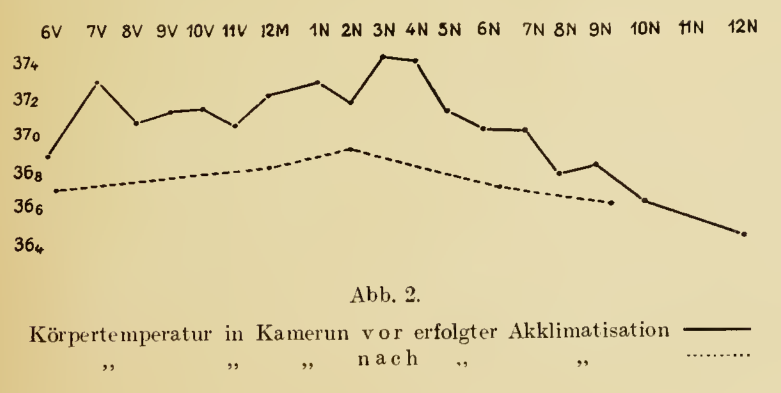


Abb. 2.

Körpertemperatur in Kamerun vor erfolgter Akklimatisation ——————
„ „ „ nach „ „ ....

Endlich ergibt sich aus den Beobachtungen an den beiden Versuchspersonen von Caspari-Schilling[6]), daß auch kurz nach dem Übergang in die Tropen, selbst wenn dieser zum ersten Male stattfand, die Körpertemperatur nicht höher zu sein braucht als im norddeutschen Klima. Bei der einen Person war sie, solange diese sich nicht im feuchtwarmen Küstenklima, vielmehr in einem mehr trockenen Inlandsklima in 410 m Höhe aufhielt, sogar des Morgens um 0,4° niedriger als in Berlin (36,5 gegen 36,9°).

Die beiden folgenden Kurven zeigen den täglichen Gang der Körpertemperatur und auch den des Pulses bei dieser letzteren Person.

---

[1]) Boileau, Lancet 1878 S. 413: The temperature of the human body.
[2]) Glogner, Virch. Arch. Bd. 119 (1887).
[3]) C. Eijkmann, Virch. Arch. Bd. 131 (1892) und Bd. 140 S. 153 (1895).
[4]) O. Schellong, Die Klimatologie der Tropen. Berlin 1893.
[5]) R. Plehn, Die Kamerunküste. Berlin 1898. S. 46.
[6]) Caspari und Schilling a. a. O.

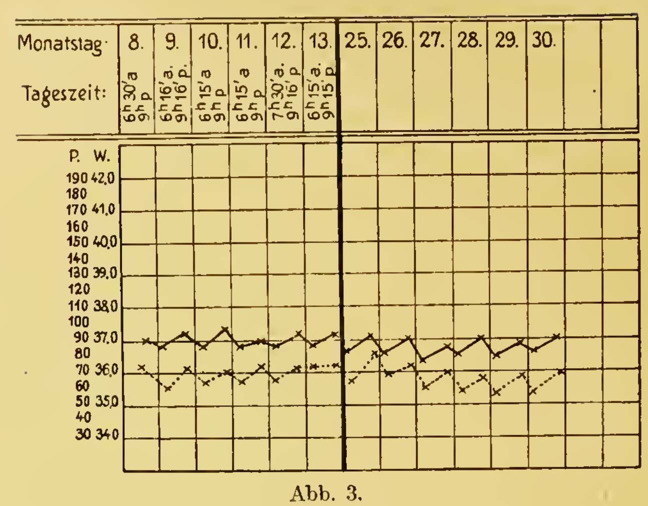


Abb. 3.

Temperaturkurve (———) und Pulskurve (··········) von Jaffé
8.—13. Mai 1907 in Kpeme. 25.—30. Januar 1908 in Sokode

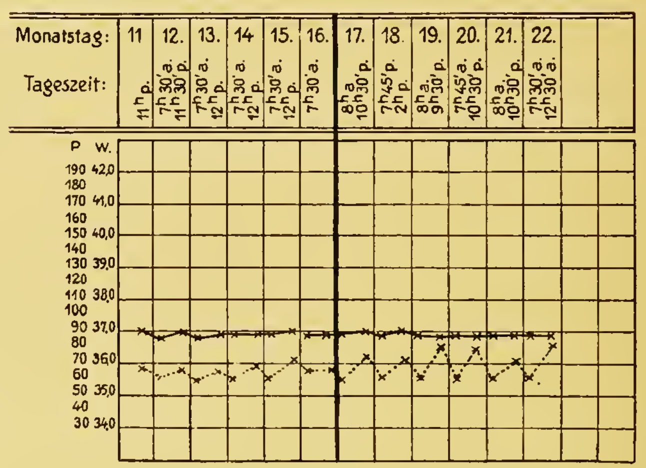


Abb. 4.

Temperaturkurve (———) und Pulskurve (··········) von Jaffé, März 1907 Berlin
11.—16. Ruhe 17.—22. Arbeit

Die vorstehenden Zahlen, die alle bei Körperruhe gewonnen sind, lassen ein verschiedenes Verhalten verschiedener Individuen gegenüber der hohen Luftwärme des Tropenklimas erkennen. Sie zeigen, daß es den einen gelingt, ihre Körpertemperatur auf der gleichen Höhe zu erhalten, wie bei mittlerer oder niedriger Umgebungstemperatur, während sie bei anderen sich mehr oder weniger höher einstellt.

Ja es scheint nach den Beobachtungen von Caspari und Schilling, daß in dem trockeneren Tropenklima, das in einiger Entfernung von den Küsten angetroffen wird, die Eigentemperatur sogar unter die im gemäßigten sinken kann, wohl durch die Möglichkeit stärkerer Wärmeentziehung durch vermehrte Wasserverdunstung. Schon Boileau hatte dieses Verhalten für möglich gehalten. —

Die Unterschiede, die sich in dem Verhalten der Eigenwärme beim Aufenthalt im Tropenklima finden, können nicht überraschen. Sie hängen mit der verschieden

ausgebildeten Fähigkeit der Wärmeabgabe zusammen, die ja auch im gemäßigten Klima gefunden wird. Maßgebend hierfür ist die verschiedene Ausbildung des Panniculus adiposus, ferner die verschiedene Erregbarkeit der Schweißdrüsen, wohl auch ein mit der physikalischen Beschaffenheit individuell wechselndes Vermögen der Haut, Wärme durch Leitung und Strahlung abzugeben. In einem Worte: es handelt sich um Differenzen in dem Verhalten der physikalischen Wärmeregulation.

Für die Erklärung der Aufrechterhaltung einer gleichmäßigen Eigenwärme können vorläufig nur die Kräfte in Betracht gezogen werden, die der sog. physikalischen Wärmeregelung dienen. Denn die sog. zweite chemische Wärmeregulierung ist an sich noch zu ungewiß, als daß man ihr eine entscheidende Rolle zusprechen könnte, und im vorliegenden Falle braucht man auch nicht auf sie zurückzugreifen, da, wie sich aus den im voraufgehenden Abschnitt mitgeteilten Tatsachen ergibt, der Erhaltungsumsatz gegenüber dem im gemäßigten Klima in der Mehrzahl der Beobachtungen nicht herabgesetzt gefunden wurde, und die wenigen anderslautenden Angaben nicht als ausreichend beweiskräftig betrachtet werden können.

Bevor wir die Vorgänge bei der physikalischen Wärmeregulierung betrachten, muß erwähnt werden, daß, wenn schon bei Körperruhe für viele Personen eine gewisse Schwierigkeit besteht, ihre Eigenwärme konstant zu halten, dies natürlich bei Muskeltätigkeit in erhöhtem Maße der Fall sein muß. Denn hier handelt es sich ja um die Forderung der Abgabe einer bei weitem beträchtlicheren Wärmemenge als bei Körperruhe.

Es läßt sich ohne weiteres voraussagen, und alle Erfahrungen des gewöhnlichen Lebens erweisen es, daß für den die Tropen aufsuchenden und selbst für den schon länger in ihnen weilenden und sonst akklimatisierten Europäer irgend eine stärkere Muskelarbeit unmöglich ist wegen der Gefahr schneller Überwärmung und des folgenden Hitzschlages infolge der Unmöglichkeit, die überschüssig gebildete Wärme alsbald wieder abzugeben.

J. Davy[1]) ist diesen Verhältnissen durch Körpertemperaturmessungen genauer nachgegangen und fand dementsprechend, daß die Körperwärme bei Muskelarbeit in den Tropen sehr erheblich steigt. Nach den Erfahrungen der Tropenärzte steigt sie dort bei gleicher Arbeit höher als in höheren Breiten.

Bemerkenswert ist dabei, daß die Eingeborenen viel besser befähigt sind, körperlich zu arbeiten, insbesondere können sie sich den Sonnenstrahlen bei Feldarbeit aussetzen, was einem Europäer unmöglich ist.

Um wieviel besser die tropischen Eingeborenen befähigt sind, in extrem hohen Temperaturen schwere körperliche Arbeit zu leisten, zeigt sehr gut folgendes von Plehn[2]) mitgeteiltes Beispiel.

Auf einem in den Tropen verkehrenden Dampfer hatte die Luft im Heizraum 39—53° C mit 25—47% relativer Feuchtigkeit, im Maschinenraum 38,5—47° mit 32—49% relativer Feuchtigkeit. Dabei stieg die Körpertemperatur bei den keine wesentliche Arbeit leistenden europäischen Maschinisten innerhalb 4 Stunden um 0,4—0,6°, bei den schwer arbeitenden chinesischen Heizern in dem gleichen Zeitraum um 0,5—0,74°.

---

[1]) J. Davy, Philosoph. transactions S. 437 (1850).
[2]) Plehn, Die Kamerunküste. Berlin 1898. S. 32.

6. Die Wärmeregelung.

Es müssen also Unterschiede bestehen im Verhalten derjenigen Faktoren, die die **Wärmeabgabe** vom Körper beherrschen, zwischen Eingeborenen und Europäern.

Da die Wärmeabgabe besorgt wird durch Leitung und Strahlung von der Haut sowie durch Wasserverdunstung von Haut und Lungen, handelt es sich um die Frage, wie diese Vorgänge im Tropenklima ablaufen und ob Unterschiede darin zwischen den farbigen Eingeborenen und den Europäern vorhanden sind.

a) Zunächst der **Umfang der Wasserabgabe.** Er ist wiederholt an Tropenbewohnern bestimmt worden. Auf Grund der Eigentümlichkeiten des Tropenklimas muß die Wasserverdunstung ihrer Menge nach, wie auch nach der Verteilung des verdampften Wassers auf Haut und Lungen sich anders gestalten als im gemäßigten Klima.

Die Lunge muß als wärmeregulatorischer Faktor gegen die Haut noch mehr als in Europa zurücktreten; denn an die hochtemperierte und zugleich einen hohen Feuchtigkeitsgrad aufweisende Einatmungsluft kann nur wenig Wasser abgegeben werden.

Für Europa beträgt durchschnittlich die Wärmeabgabe durch Verdunstung seitens der Lunge auf Grund der Bestimmungen von Helmholtz und Rosenthal[1]) ca. 240 Kal., das sind 10% der Gesamtmenge; für die Tropen schätzt sie Eijkmann[2]) zu nur 150 Kal., gleich 6% der gesamten.

Die Wasserverdunstung von der Haut, die hier zunächst ebenso wie die seitens der Lunge für den ruhenden Körper berechnet wird, macht im gemäßigten Klima auch nur einen verhältnismäßig kleinen Betrag der Wärmeabgabe aus, der in seinem Umfang natürlich schwanken wird nach dem Verhalten der Wärmefaktoren der umgebenden Atmosphäre. In einer Bestimmung Rubners betrug die Wasserabgabe durch Verdunstung von Haut plus Lungen 18,2% der gesamten. Nach Atwaters Zahlen, die das Mittel von 14 Versuchen und 49 Tagen angeben, gaben Haut plus Lungen durch Verdunstung 24,2% der gesamten Wärmeabgabe her. Jedoch kann unter besonderen klimatischen Verhältnissen der durch Wasserverdunstung gelieferte Anteil an der Entwärmung noch weit höher steigen.

Demgegenüber sollen nach Eijkmanns Bestimmungen in den Tropen ca. 40% der Wärmeabgabe durch Verdunstung gedeckt werden.

Auf Leitung und Strahlung würden danach ca. 60% der Wärmeabgabe entfallen, gegenüber im Durchschnitt ca. 75% in unseren Breiten.

Bei weitem höher noch stellte sich der Anteil, den die Wasserverdunstung an der Deckung der gesamten Wärmeabgabe nimmt, in Laboratoriumsversuchen von Rubner[3]). Bei ihm wurden durch erstere bei Temperaturen von 33—34° bei einem Europäer 87,1%, bei einem Neger im Anfang der 20er Lebensjahre 87,7%, bei einem etwas jüngeren Neger 63,9% der abgegebenen Wärme geliefert.

Betrachtet man die absoluten Wassermengen, die abgegeben werden, die also zur Verdunstung kommen können, so stellen sich diese in den Tropen — schon bei Körperruhe — natürlich höher als in unserem Klima. Dabei ergibt sich aber ein beträchtlicher Unterschied zwischen Europäern, sowohl frisch in die Tropen gelangten wie akklimatisierten, einerseits und Eingeborenen andererseits nach Eijkmanns[2])

---

[1]) Vgl. J. Rosenthal in Hermanns Handb. d. Physiol. IV, 1. Leipzig 1881; und R. Tigerstedt in Nagels Handb. d. Physiol. Bd. 1 S. 881.

[2]) Eijkmann, Virch. Arch. Bd. 133 (1893).

[3]) M. Rubner, Untersuchung über die Hauttätigkeit des Europäers und Negers. Arch. Hygiene Bd. 38 1900 S. 148.

ausgedehnten Feststellungen. Die folgende Tabelle enthält das Mittel der an 7 Europäern und 4 Malaien gewonnenen Zahlen. In ihnen ist auch die Wassermenge berücksichtigt, die aus der Oxydation des organischen Materiales entstanden ist.

Tabelle 8.

	Wasserabgabe pro Tag in Gramm			Auf die Haut entfallen von der Gesamtwasserabgabe %
	von Haut und Lungen	durch Harn und Kot	Summe g	
Europäer in Europa bei Körperruhe	931	1322	2253	41,3
Europäer in Europa bei mittlerer Arbeit	1722	1232	2954	58,3
Europäer in Indien bei geringer Arbeit	1730	1338	3068	56,4
Malaie in Indien	1577	738	2315	68,0

Die Tabelle läßt erkennen, daß von Europäern in den Tropen schon bei leichter Arbeit Wassermengen abgegeben werden, die etwa den bei uns unter schwererer Arbeit abgegebenen entsprechen, und daß dabei der Anteil, den die Hautwasserabgabe an der Gesamtwasserabgabe nimmt, gleichfalls bei leichter Arbeit in den Tropen dem bei schwererer im gemäßigten Klima gleichkommt.

Es wächst also im Tropenklima die Menge des zur Verdunstung zur Verfügung stehenden Wassers auf Kosten der Bedeutung von Wärmeleitung und -strahlung, die ganz in den Hintergrund gedrängt werden können.

Die von Eijkmann für akklimatisierte Europäer in den Tropen gefundenen absoluten Zahlenwerte sind gegenüber dem gemäßigten Klima nur verhältnismäßig wenig erhöht. Viel höher liegen die Werte für die Menge des von Haut und Lungen abgegebenen Wassers bei den beiden Versuchspersonen von Caspari und Schilling, die allerdings — als die Bestimmungen ausgeführt wurden — das Tropenklima eben erst aufgesucht oder doch nur 5—8 Monate in ihm gelebt hatten.

Sie gaben von Haut und Lungen pro Tag 3—3½ kg Wasser ab beim Aufenthalt im feuchten Küstenklima; die eine Person in dem trockenen Binnenklima bis zu 4¾ kg pro Tag.

Die Unterschiede, die sich in dem Umfang der Wasserabgabe schon zwischen eben in die Tropen gekommenen und längere Zeit in ihnen lebenden Europäern zeigen, treten noch deutlicher hervor bei einem Vergleich von Europäern, selbst akklimatisierten, und Eingeborenen. Die vorstehende Tabelle zeigt, daß sowohl in der Gesamtwasserausscheidung wie in der Verteilung des Wassers auf Haut und Lungen einerseits, auf Harn und Kot andererseits erhebliche Abweichungen bei den Eingeborenen gegenüber den Europäern bestehen.

Die Malaien, obwohl mindestens ebenso arbeitend wie die Europäer, geben insgesamt viel weniger Wasser ab, als letztere: 2,3 l gegen 3,0 l. Dabei geschieht die Abgabe überwiegend — zu 68% — durch Haut und Lungen, während die Wassermengen, die in Harn und Kot enthalten sind, d. h. vorwiegend die Harnmengen, erheblich eingeschränkt sind.

Dieselben Verhältnisse fand Eijkmann in weiteren Versuchen an 10 Europäern und 10 Malaien, bei denen die Hautwasserabgabe und Harnausscheidung während 3 Stunden bestimmt wurden. Erstere gaben von Haut und Lungen 336 g ab, letz-

tere 235 g; erstere sonderten 131,5 ccm, letztere 50,3 ccm Harn ab. Perspiration zu Harnabsonderung verhielten sich bei den Europäern wie 2,6:1, bei den Eingeborenen wie 4,4:1.

Da angenommen werden muß, daß die gesunden Eingeborenen sich im Wassergleichgewicht befinden, muß man schließen, daß sie auch mit einer viel geringeren Wasseraufnahme auskommen, wobei allerdings ihr geringes Körpergewicht und die im ganzen geringere Wärmebildung zu berücksichtigen ist. Unabhängig hiervon ist aber die Tatsache, daß sie das ausgeschiedene Wasser besser zur Wärmeregelung des Körpers verwerten, indem verhältnismäßig mehr durch Haut und Lungen abgegeben wird.

In dem vorstehend herangezogenen Laboratoriumsversuch von Rubner war allerdings kein Unterschied in der Wasserverdunstung zwischen einem Europäer und zwei Negern zu finden. Aber die Versuchsbedingungen sind mit den eines Aufenthaltes im Tropenklima selbst nicht in gleiche Linie zu stellen.

Auch im Tropenklima läßt sich der Unterschied zwischen Europäern und Eingeborenen beseitigen, wenn man letzteren über ihren Bedarf reichlich Wasser zuführt. Dann engt sich das Verhältnis von Perspiration zu Harnmenge mehr und mehr ein, so daß es wie 1:1 werden kann unter stetiger Zunahme der Harnmenge; ja bei weiterer Wasseraufnahme kommt ein Punkt, bei dem die Perspiration sich nicht mehr deutlich erhöht, dafür aber die Harnmengen weiterwachsen, so daß sie schließlich erstere bei weitem übertreffen. Im Mittel von 10 derartigen Versuchen war die Perspirationsgröße 154, die Harnmenge 264; ihr Verhältnis 0,58:1,0.

Ist die Umgebungstemperatur besonders hoch — bei Eijkmann war sie 32,5° C — ist also die Wärmeabgabe besonders erschwert, dann nimmt der Wasserverlust durch Haut und Lungen bei Europäern viel erheblicher zu als bei den Eingeborenen, selbst wenn diese reichlich Wasser zugeführt erhalten. Im Mittel von 22 Bestimmungen gaben unter diesen Umständen ab:

die Europäer von Haut und Lungen 201, im Harn 118,
„ Malaien „ „ „ „ 144, „ „ 137,

so daß das Verhältnis von Perspiration zu Harnmenge sich stellt wie 1,7:1 bei den Europäern, wie 1,0:1 bei den Malaien.

Endlich ist hervorzuheben, daß auch bei Muskelarbeit der Europäer bei weitem mehr Wasser in den Tropen abgibt als der Eingeborene.

Faßt man alle vorstehend mitgeteilten Tatsachen zusammen, so ergibt sich, daß der Europäer um so mehr Wasser durch die Haut abgibt, je weniger er akklimatisiert ist und daß bei den Eingeborenen die Hautwasserabgabe noch mehr beschränkt ist als beim akklimatisierten Europäer.

Dementsprechend ist auch die Wasseraufnahme verschieden.

Die verschieden starke Wasserabgabe von der Haut der Europäer und Eingeborenen kann wohl nicht mit Bestimmtheit als der Ausdruck von Rasseneigentümlichkeiten angesprochen werden. Denn sie gilt nur, wenn man magere Eingeborene — und die Eingeborenen des indischen Archipels, die bisher allein untersucht wurden, sind gewöhnlich mager — zum Vergleich heranzieht. Fette Farbige, besonders gilt dies von Negern, schwitzen sehr stark.

Da alle Untersuchten sich im Wassergleichgewicht befanden, kann man nicht annehmen, daß die bei den Europäern stark vermehrte Wasseraufnahme, bzw. der Durst, der sie veranlaßt, das Primäre ist, die starke Wasserabgabe das Sekundäre. Vielmehr muß man die verschieden starke Wasserabgabe als das Primäre betrachten.

Man wird die Tatsachen so deuten müssen, daß die Erregungen, die die Schweißzentren und Schweißdrüsen durch die hohe Temperatur des Tropenklimas erfahren, und damit die Tätigkeit der letzteren je nach der Aufenthaltsdauer im Tropenklima verschieden stark sind, derart, daß sie am größten bei Neulingen sind, geringe

bei Akklimatisierten, am geringsten bei den Eingeborenen. Das ist der Fall schon bei Körperruhe, mehr noch bei Muskelarbeit.

Eine verschieden starke Reaktion der Schweißdrüsen auf die Klimareize wäre die Folge. Aus ihr ergibt sich als ausgleichender Vorgang die verschieden starke Wasseraufnahme, um den Körper auf seinen normalen Wassergehalt zu erhalten.

Die starke Wasserabgabe kommt dem Körper aber durchaus nicht ganz als wärmeregelndes Mittel zugute. Denn nur derjenige Teil, der verdunstet, wirkt abkühlend; diejenige Menge, die als flüssiger Schweiß bestehen bleibt, hat ihren Zweck verfehlt. Eijkmann bestimmte die verdunstende Menge bei einem Aufenthal unter 32,9° C bei den Europäern zu 15—200 g, im Mittel zu 80 g, bei den Malaien zu 10—60 g, im Mittel zu 25 g.

Daß die bei den Eingeborenen viel geringere Menge von Hautwasser, das verdunstet, genügt, um die Eigentemperatur konstant zu erhalten, wird durch die schon erwähnte Tatsache erwiesen, daß diese auf derselben Höhe liegt, wie bei den Europäern.

Die vielfach gehegte Meinung, daß die bessere physikalische Wärmeregelung bei den Eingeborenen in den Tropen dadurch zustande komme, daß bei ihnen die absolute Größe der Wasserausscheidung durch die Haut gesteigert sei, trifft danach nicht zu.

b) Zur Erklärung der zwischen Europäern und Farbigen bestehenden Unterschiede in dem Umfang der Hautwasserabgabe müssen mehrere Gesichtspunkte herangezogen werden, die mit der Art der Erregung der Schweißdrüsen zusammenhängen.

Die Schweißdrüsen können bekanntlich einerseits direkt von den Schweißdrüsenzentren aus, andererseits reflektorisch — auf diesem Wege in erster Linie von der Haut aus — zur Tätigkeit gebracht werden. Der normale Reiz für die Schweißzentren ist die Steigerung der Blutwärme. Diese kann beim Europäer in den Tropen eher zustande kommen als beim Eingeborenen, da bei letzterem die Wärmeabgabe leichter ist als bei ersterem. Sie ist es dadurch, daß der Eingeborene meist mager, der Europäer mit reichlicherem Fettpolster begabt ist. Die leichtere Wärmeabgabe besteht nicht bei fetten Eingeborenen und diese schwitzen so stark wie die Europäer. Für das gewöhnliche Leben in den Tropen spielt dabei ein zweiter Umstand eine Rolle, der allerdings keine physiologische Verschiedenheit bedeutet, nämlich der, daß die Eingeborenen fast nackt gehen und dadurch erheblich günstiger in bezug auf die Wärmeabgabe gestellt sind als die Europäer.

In den Tropen mit ihrer hohen Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Strahlung kommt aber auch die reflektorische Schweißerregung von der erwärmten Haut aus in Betracht. Hier ist zunächst ins Auge zu fassen, daß nach allgemeinphysiologischen Erfahrungen die Erregung der Schweißdrüsen durch die gesteigerte Hautwärme sich verschieden gestalten wird, je nachdem dieser Wärmereiz sie ungewohnt trifft, oder nach mehr oder minder langer Gewöhnung an ihn. Die Gewöhnung führt zu einer geringeren Reaktion auf den Reiz und wird demnach zu der — tatsächlich festgestellten — allmählich vor sich gehenden Einschränkung der Schweißabgabe beitragen.

Aber für die reflektorische Anregung der Schweißdrüsen von der Haut aus, und in Abhängigkeit davon, sekundär, auch für die zentrale Erregung, sind mitbestimmend die anatomischen Verhältnisse der Haut, wobei zur Erklärung der Unterschiede in der Schweißbildung bei Europäern und Eingeborenen im wesentlichen die Unterschiede im Pigmentgehalt der Haut heranzuziehen sind.

Die weiße und farbige Haut verhalten sich verschieden in bezug auf Absorption und Durchlässigkeit für Wärmestrahlen, wodurch es zu einer verschieden starken Erwärmung der äußeren Hautschichten und zu verschieden starkem Wärmeübertritt ins Körperinnere kommt.

c) Es müssen also die Verhältnisse der **Wärmeleitung und Wärmestrahlung** seitens der Haut neben der bisher allein betrachteten Wasserverdunstung in den Kreis der Erörterung gezogen werden, und die Frage ist, wie sich Europäer und Eingeborene in bezug auf diese Faktoren verhalten.

Im Tropenklima ist die Wärmezufuhr durch Strahlung sehr bedeutend, demgegenüber die Möglichkeit der Wärmeabgabe durch Leitung wie durch Strahlung entsprechend der herrschenden Temperatur und beeinflußt durch die Luftfeuchtigkeit herabgesetzt (vgl. Allgemeine Klimatophysiologie, S. 17 ff.).

Dabei ist die Wirkung der Wärmezufuhr auf den Europäer und den Farbigen nicht gleich. Wie im Kapitel „Allgemeine Klimatophysiologie" besprochen, verhalten sich verschieden gefärbte Gegenstände gegenüber den dunklen Wärmestrahlen ziemlich gleich, so daß für die dunklen Wärmestrahlen ein Unterschied zwischen Europäern und Eingeborenen nicht zu erwarten ist. Dagegen ist die Wirkung der wärmezuführenden Lichtstrahlen — der hellen Wärmestrahlen — verschieden. Ceteris paribus nehmen dunkle Körper aus ihnen mehr Wärme auf als helle. Wie schon erwähnt, hat Eijkmann[1]) direkte Versuche mit der Haut von Weißen und Farbigen angestellt, die er der gleichen Sonnenbestrahlung aussetzte. Die letztere erwärmte sich dabei mehr als erstere; denn ihre Temperatur stellte sich auf 50,1°, die weiße auf 47,5°.

Aber mit der stärkeren Wärmeaufnahme der farbigen Haut geht zugleich eine geringere Wärmedurchlässigkeit einher. In vielfachen Durchstrahlungsversuchen hat P. Schmidt[2]) dies auf thermoelektrischem Wege festgestellt an konservierter und frischer heller und dunkler Haut. Erstere läßt doppelt soviel Wärme aus hellen Wärmestrahlen hindurchtreten wie letztere. Das Innere des Körpers empfängt also weniger Wärme bei dunkler Haut.

Dabei fand Schmidt zugleich, daß auch dunklen Haaren ein größerer Wärmeschutz zukommt. Für die Wärmeeinstrahlung stellen danach dunkle Haut und dunkles Haar im Tropenklima zweckmäßige Einrichtungen der Natur vor.

Was nun die Wärmeausstrahlung und damit die Fähigkeit zur Wärmeregelung beizutragen, anlangt, so müßte man auf Grund physikalischer Erfahrungen von vornherein annehmen, daß kein Unterschied bestehen kann, der aus der Farbe sich ergibt. Denn bei der Wärmeausstrahlung kommen nur dunkle Wärmestrahlen in Betracht, und, ebenso wie für die Absorption dieser, spielt auch für ihre Ausstrahlung die Farbe des strahlenden Körpers keine Rolle.

Schmidt hat durch besondere Versuche die gleichgroße Wärmeausstrahlung weißer und schwarzer Haut festgestellt. Eijkmann[3]) maß thermometrisch die Temperaturzunahme, die die Luft in einer Armmanschette allmählich annahm. Er fand unter den gleichen Versuchsbedingungen keinen Unterschied zwischen Europäern und Malaien.

Nur Glogner[4]) will Unterschiede gefunden haben in dem Sinne, daß die Farbigen hinsichtlich der Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung begünstigt wären. — Er

---

[1]) C. Eijkmann, Virch. Arch. Bd. 140 S. 155 (1895).

[2]) P. Schmidt, Über Sonnenstich und über Schutzmittel gegen Wärmestrahlung. Arch. f. Hyg. Bd. 47 S. 262 (1903).

[3]) C. Eijkmann, Virch. Arch. Bd. 140.

[4]) Glogner, Virch. Arch. Bd. 116 S. 540 (1889).

hat zunächst die Wärmeabgabe durch Leitung festzustellen gesucht, indem er den Arm von Europäern und Malaien in gleichwarmes Wasser brachte und die Temperaturveränderungen desselben innerhalb einer halben Stunde feststellte.

Glogner findet, daß im Mittel die Haut des Europäers an Wasser von 28⁰ abgab 8,7 Kal., die des Malaien 10,5 Kal. — Allerdings bestehen erhebliche individuelle Differenzen in den Einzelwerten, so daß das Ergebnis keinen vollgültigen Beweis darstellt. Später benutzte Glogner[1]) ein kleines Luftkalorimeter nach Winternitz, das auf den Oberschenkel für bestimmte Zeit aufgesetzt wurde und bei dem die Temperaturzunahme der abgeschlossenen Luft abgelesen wurde. Hier waren die Unterschiede deutlicher. Der Malaie gab mehr Wärme ab als der Europäer, indem die Kalorimetertemperatur bei ihm unter den gleichen Bedingungen im Mittel von 14 Bestimmungen um 1,74⁰, beim Europäer nur um 1,46⁰ anstieg. Hier sind auch die individuellen Abweichungen viel geringer gefunden worden als in den erstgenannten Versuchen.

Im Sinne einer stärkeren Wärmeausstrahlung der Haut bei Farbigen spricht die Tatsache, daß in den Tropen europäische Kinder spontan angeben, daß, wenn sie neben Negerkindern in der Schule sitzen, es „heiß“ sei, d. h. daß von diesen reichlich Wärme ausgestrahlt werde, während neben europäischen Kindern eine solche Wärmeausstrahlung nicht wahrgenommen werde. —

Faßt man die Untersuchungen über die Leitungs- und Strahlungsverhältnisse der Haut zusammen, so müßte man folgendes sagen. Die farbige Haut erwärmt sich bei gleicher Zustrahlung höher als die weiße. Danach muß sie mehr Wärme durch Leitung und Strahlung nach außen abgeben. In der wärmeren Haut werden aber auch die Schweißdrüsen früher zur Sekretion angeregt werden[2]), also auch durch Schweißwasserverdunstung wird die Wärmeabgabe eher in Gang gesetzt als bei weißer Haut.

Die farbige Haut läßt weniger Wärme ins Innere des Körpers hindurch, führt diesem also weniger Wärme zu; die Körpertemperatur wird also auch aus diesem Grunde weniger leicht steigen. So wirkt sie in doppelter Hinsicht günstig auf die Wärmeverhältnisse des Eingeborenen in den Tropen. Da auch bei längere Zeit in den Tropen lebenden Europäern eine Färbung der Haut eintritt, ist hiermit ein Moment zur Verbesserung auch ihrer Wärmeregelung gegeben.

d) Die **Gesamtheit der Wärmeregelungsvorgänge** in den Tropen, zumal die Unterschiede zwischen Eingeborenen und Europäern, lassen sich heute noch nicht mit voller Klarheit übersehen. Sicher ist, daß die Wärmeregelung der Europäer in den Tropen weniger wirksam ist als die der Eingeborenen, sicher ferner, daß bei beiden die Wasserverdunstung den Hauptteil der Wärmeabgabe darstellt, und daß die Wassermenge, die vom Körper abgegeben wird und die also zur Verdunstung zur Verfügung steht, beim Eingeborenen gewöhnlich, d. h. wenn er seinem normal geringen Bedürfnis nach Wasseraufnahme folgen darf, zurücktritt gegenüber der vom Europäer abgegebenen.

Man hat bisher meistens die Menge des vom Körper abgegebenen Wassers als Maßstab für den Umfang der Wärmeregulierung durch Wasserverdunstung genommen. Das ist jedoch nicht zutreffend, sicher nicht beim Europäer in den Tropen, zumal bei den frisch in die Tropen kommenden, eher beim Eingeborenen bei Körperruhe. Beim Europäer übertrifft die abgegebene Wassermenge mehr oder weniger

---

[1]) Glogner, Virch. Arch. Bd. 119 (1890).

[2]) Vgl. v. Schrötter, Theorie und Praxis der Strahlenbehandlung. Aus: Tuberkulose-Fürsorgeblatt Nr. 11 (1919) und: Strahlentherapie XI (1920) und XVI, 1 (1923).

erheblich die verdunstende. Wie jedoch sich in Wahrheit die Wärmeabgabe durch Wasserverdunstung beim Europäer in den Tropen stellt, ist bis jetzt nicht sicher zu sagen. Wahrscheinlich ist sie erheblicher als beim Eingeborenen. Aus dem Verhalten des Stoffumsatzes von Europäern im gemäßigten Klima und in den Tropen, sowie des von tropischen Eingeborenen geht hervor, daß dieser unter gleichen Arbeitsbedingungen sich gleichstellt. Es muß also die gesamte Wärmeabgabe ebenfalls gleich sein. Da nun wahrscheinlich der durch Wasserverdunstung vor sich gehende Anteil bei den Europäern größer ist als bei den Eingeborenen, so muß bei diesen der durch Leitung und Strahlung von der Haut erfolgende verhältnismäßig überwiegen. Die Einlagerung von Pigment in die Haut der Eingeborenen und die damit in Zusammenhang stehenden, vorstehend geschilderten physikalischen Verhältnisse stehen mit dieser Forderung in Einklang. Daß der Pigmentreichtum zu einer geringeren Zustrahlung von Wärme in das Körperinnere führt und auch dadurch den Wärmeausgleich erleichtert, ist gleichfalls schon erwähnt worden.

Sundström[1]) hat bei seinen, dem künstlichen Tropenklima ausgesetzten Mäusen auch die Körperoberfläche direkt gemessen. Er gibt an, daß sie im Verhältnis zum Körpergewicht bei diesen größer ist, als bei den nicht erhitzten Kontrolltieren. Das würde eine zweckmäßige Anpassung darstellen, durch die die Wärmeabgabe erleichtert wird.

In diesem Sinne kann auch die wiederholt erwähnte Magerkeit, die überwiegend bei den in Niederländisch-Indien lebenden Malaien beobachtet wird, als zweckmäßig für die Wärmeabgabe angesehen werden; nicht nur, weil durch sie die Wärmeleitung aus dem Körperinneren begünstigt wird, sondern auch, weil dabei die Körperoberfläche relativ größer ist als bei Fettleibigen.

e) In naher Beziehung zur Wärmeregulation steht das **Wärmegefühl.**

Über seine allgemeine Bedeutung wurde im Kapitel „Allgemeine Klimatophysiologie" (S. 83 ff) ausführlich gesprochen.

Bemerkenswert ist nun, daß im Tropenklima die Wärmeschwankungen der Atmosphäre sehr stark empfunden werden.

Das gilt besonders vom feuchten Tropenklima. Das Gefühl von Kälte bis zu Frostschauern stellt sich ein bei Temperaturen, die im gemäßigten Klima noch gut ertragen werden.

A. v. Humboldt[2]) berichtet darüber: „Noch waren wir nicht zwei Monate in der heißen Zone und bereits waren unsere Organe so empfindlich für den kleinsten Temperaturwechsel, daß wir vor Frost nicht schlafen konnten. Zu unserer Verwunderung bemerkten wir, daß das 100teilige Thermometer auf 21,8° stand." Gleiche Erfahrungen sind von zahlreichen Europäern in den Tropen gemacht worden. Aber auch von den Eingeborenen in Guayaquil, in Senegambien und an anderen Orten wird ähnliches berichtet.

Dabei handelt es sich um Temperaturschwankungen, die nur wenige Grade unter das Mittel hinabgehen. In trockenen heißen Klimaten macht sich bei Temperatursenkungen Kältegefühl weniger bemerklich.

Gleiche Temperaturveränderungen wirken also ganz verschieden auf die Temperaturempfindungsnerven, je nach dem Temperaturgrad und dem Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphäre. —

Die starke Wirkung im feuchtwarmen Klima hängt mit mehrerlei Faktoren zusammen. Zunächst ist meist eine, wenn auch geringe Schweißbedeckung der Haut vorhanden, wodurch bei Abkühlung der Luft ein stärkerer Wärmeverlust durch

[1]) E. S. Sundstrom, Amer. Journ. of physiol. 60, 416 (1922).
[2]) Zitiert nach Hann, Klimatologie II S. 25.

Leitung zustande kommt. Ferner sind wohl bei dem im Tropenklima im allgemeinen sehr gleichmäßigen Verhalten der Luftwärme die der physikalischen Wärmeregulierung dienenden Einrichtungen weniger geübt und reagieren schlechter als im gemäßigten Klima mit seinen vielfachen Temperaturwechseln. Endlich spielt vielleicht auch die Tatsache eine Rolle, daß die Bekleidung wesentlich auf Erleichterung der Wärmeabgabe und nicht auf Wärmezurückhaltung eingerichtet ist, der Körper also durch sie nur geringen Schutz gegen Abkühlung erfährt.

7. Über Akklimatisation an das Tropenklima[1]).

Einige in den voraufgehenden Abschnitten mitgeteilte Tatsachen lassen erkennen, daß mit der zeitlichen Ausdehnung des Aufenthaltes in den Tropen die Beschwerden, die das Klima verursacht, sich verringern, und daß die Arbeitsfähigkeit allmählich steigt. Das läßt darauf schließen, daß Veränderungen in den physiologischen Funktionen vor sich gehen, die die Widerstandskraft gegen die schädlichen Klimaeinflüsse stärken; es tritt eine Gewöhnung an das Klima ein, das, was man Akklimatisation nennt.

Diese Akklimatisation muß letzten Endes auf einer zweckmäßigeren Gestaltung der wärmeregelnden Vorgänge im Körper beruhen. Allerdings sind wir über die Einzelheiten, die sich hier abspielen, nicht vollkommen unterrichtet.

Man hat sich gewöhnt, die Akklimatisationsvorgänge und -erfolge nach zwei Richtungen hin zu betrachten, die man kurz als persönliche und als Rassenakklimatisation bezeichnen kann. Erstere umfaßt die Prozesse, die dazu führen, daß ein aus dem gemäßigten Klima stammendes Individuum fähig wird in den Tropen zu leben und wenigstens leichte körperliche Arbeit zu leisten, ohne durch die klimatischen Einflüsse — und nur diese sollen hier betrachtet werden, nicht die sonstigen Schädigungen, die durch tropische infektiöse Erkrankungen zustande kommen — in seiner Gesundheit beeinträchtigt zu werden.

Demgegenüber betrachtet die Rassenakklimatisation die Möglichkeit, im tropischen Klima derart heimisch zu werden, daß man dem gleichen Beruf wie im gemäßigten Klima nachgehen, insbesondere als Ackerbauer sich betätigen kann, daß man Nachkommenschaft erzeugen kann, also fortpflanzungsfähig bleibt, und daß die Nachkommen sich kräftig entwickeln, eine weitere, gesunde und kräftige Generation hervorbringen, daß also die Rasse als solche sich in der Tropenzone so leistungsfähig erhält wie in der früheren Heimat.

Was die persönliche Akklimatisation betrifft, so erfordert diese, wie gesagt, eine Anpassung der Wärmeregulation an das tropische Klima.

Das kann auf zweierlei Weise geschehen. Einmal durch Einschränkung der Wärmeerzeugung, sodann durch Vermehrung der Wärmeabgabe. Erstere wird willkürlich herbeigeführt durch Beschränkung der körperlichen Arbeit auf das notwendige Mindestmaß. Wenn hierdurch auch die Wärmeregulierung, d. h. die Konstanterhaltung der Körpertemperatur, erleichtert wird, so kann man dies doch nicht einen akklimatisatorischen Vorgang nennen in dem Sinne, daß er dazu beiträgt, die durch das Klima verursachten Schwierigkeiten leichter zu ertragen. Denn die Beschränkung der Wärmeerzeugung bedeutet einen Ausfall an körperlicher Leistung,

---

[1]) Vgl. Steudel, Arch. f. Schiffs- u. Tropenhygiene Bd. 12; Wulffert, Sammlung klin. Vorträge Nr. 279; Däubler, Tropenhygiene, 2. Aufl. (Berlin 1900); Schilling, Tropenhygiene (Leipzig 1909); Hüppe, B. kl. W. 1901; Schellong, Weyls Handb. d. Hygiene I, 1 (1894).

also von vornherein eine Schlechterstellung des Europäers gegenüber dem Eingeborenen. Und Akklimatisation soll doch eine Steigerung seiner Leistungsfähigkeit und ihre Annäherung an die der Eingeborenen darstellen.

Wirksam in dieser Hinsicht könnte nur eine genügende Steigerung der Wärmeabgabe sein. Aber darüber ist nichts Sicheres bekannt, soweit es sich um die im Tropenklima im Vordergrunde stehende Wasserverdunstung handelt.

Die Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung allerdings kann durch die allmähliche Ausbildung von Hautpigment wirksamer gestaltet werden, wie im vorstehenden Abschnitt erörtert wurde; auch die Wärmeeinstrahlung in das Körperinnere wird dadurch vermindert.

Aber dies genügt im allgemeinen nicht um eine vollkommene Anpassung an das Tropenklima herbeizuführen, und nach allen Erfahrungen gelingt es einem Europäer nur in Ausnahmefällen, dauernd ohne Beschwerden im tropischen Küstenklima zu leben. Die meisten sehen sich genötigt, von Zeit zu Zeit die Tropen zu verlassen, um vorübergehend wieder kältere Klimate aufzusuchen. Dieser Erfahrung haben alle tropische Kolonien besitzenden Völker Rechnung getragen, indem sie für ihre Beamten oder sonst in den Tropen diensttuenden Angestellten in bestimmten Zwischenräumen einen Heimaturlaub zur Erhaltung der Gesundheit eingeführt haben.

Immerhin scheint eine gewisse, praktisch nicht unwichtige Anpassung an das tropische Klima einzutreten. Sie spricht sich darin aus, daß längere Zeit in den Tropen weilende Europäer weniger von den rein klimatisch bedingten Tropenkrankheiten: Hitzschlag und Sonnenstich (Näheres hierüber bringt das Kapitel: Allgemeine Klimatophysiologie, S. 52) befallen werden, als Neueintreffende, und nicht so heftig wie letztere erkranken. Auch sollen in Indien geborene Kinder von Europäern weniger leicht erkranken, als die eingewanderten.

Nach Ziermann[1]) scheint schon im südlichsten Europa eine Art Akklimatisation einzutreten. Denn in Sizilien sollen Erkrankungen am Sonnenstich unter den englischen Soldaten seltener werden, wenn diese längere Zeit auf der Insel sich aufgehalten haben.

Eine experimentelle Stütze für die Gewöhnung an übermäßige Wärmezufuhr liefern Versuche von Richet jun.[2]). Er setzte Mäuse, Ratten und Kaninchen dunkler und strahlender Wärme aus. Waren sie das erste Mal lange genug bestrahlt worden, so waren sie fähig, nach etwa 3 Wochen eine stärkere Bestrahlung zu ertragen. Daß dabei chemische Vorgänge ausgelöst wurden, die mit den immunisatorischen in Parallele zu setzen wären, ergibt sich daraus, daß nach Einspritzung des Blutes überhitzter Tiere eine nun vorgenommene Überhitzung besser ertragen wurde als ohne diese Vorbehandlung. Auch bewirkt die Injektion von Blut überhitzter Tiere eine Leukopenie, wie die Überhitzung selbst.

Günstiger liegen die Verhältnisse für das tropische Höhenklima. In diesem können Europäer leichter lange Zeit leben und körperlich, auch als Ackerbauer, arbeiten. Aber das Klima des tropischen Hochlandes unterscheidet sich wesentlich von dem Niederungsklima, indem es trockener ist, die Unterschiede zwischen Tages- und Nachttemperaturen erheblich sind, auch jahreszeitliche Veränderungen sich bemerkbar machen sollen. Jedoch ist es auch für diese Landstriche, für die Ostafrika, Kamerun, Zentralamerika in Betracht kommen[3]), noch fraglich, ob die körperliche Leistungsfähigkeit auf der Höhe der im gemäßigten Klima liegt.

---

[1]) Ziermann, Über die vorherrschenden Krankheiten Siziliens. Hannover 1819. Zitiert nach Jacubasch, Sonnenstich und Hitzschlag. Berlin 1879. S. 81.

[2]) Ch. Richet jun., J. de physiol. 20, 49 (1922).

[3]) O. Schilling, Tropenhygiene. Leipzig 1909. S. 182.

Ebenso zweifelhaft ist die Möglichkeit einer Rassenanpassung an das Tropenklima. Viele der besten Tropenkenner halten sogar die Rassenakklimatisation im Sinne der vorher gekennzeichneten vollkommenen Akklimatisation für unmöglich. Jedenfalls liegen bis heute absolut sichere Beweise für die leistungsfähige Erhaltung einer europäischen Rasse in der Tropenzone nicht vor.

Man darf allerdings nicht vergessen, daß zu einem erheblichen Teil die Ursache der Widerstandsunfähigkeit gegen den Aufenthalt in den Tropen in dem Befallenwerden von Tropenkrankheiten, besonders von Malaria, Ruhr und Gelbfieber, liegt, und daß diese an dem häufigen Aussterben europäischer Kolonistenfamilien einen nicht geringen Teil der Schuld tragen; eine Schuld übrigens, die in früheren Zeiten, vor der Erkenntnis vom Wesen der infektiösen Tropenkrankheiten, dem Klima zur Last gelegt wurde.

Ein weiteres Moment für das Verschwinden von Angehörigen der europäischen Rasse in den Tropen ist ihre Vermischung mit den Eingeborenen. Es entsteht eine Mischrasse, die gewöhnlich widerstandsfähiger gegen das Tropenklima ist als die europäische, zum Teil das Tropenklima ebensogut verträgt wie die Eingeborenen. Endlich liegt eine Ursache des Aussterbens der Europäer in den Tropen in dem Umstande, daß die in den Tropen geborene weibliche Nachkommenschaft in der 3. bis 4. Generation gewöhnlich unfruchtbar wird.

Es bleiben nur sehr wenige europäische Kolonien, die weder durch Krankheiten, noch durch Vermischung der Bewohner zugrunde gingen und die für die Frage der vollkommenen Akklimatisation herangezogen werden können. Erwähnt sei nur die Besiedelung der zu den Kleinen Antillen gehörenden Insel St. Barthélemy, die im 17. Jahrhundert durch Normannen erfolgte. Hier hat sich die Rasse scheinbar rein erhalten nach Vernichtung der Ureinwohner. Aber Alkoholmißbrauch, Syphilis, Inzucht haben sie verschlechtert.

Schilling nennt weiter zwei europäische Niederlassungen im Malaiischen Archipel. Die eine auf der Insel Kisser stammt von Soldaten, die sie am Ende des 17. Jahrhunderts besiedelten, die zweite auf der Insel Banda besteht seit der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts. Es ist fraglich, ob beide nicht öfters durch europäischen Zuzug aufgefrischt wurden. Bemerkenswert ist, daß beide Kolonien sich nicht derart vergrößert haben, daß sie irgendeine Bedeutung erlangt hätten.

Das vorstehende Material ist zur eindeutigen Beantwortung der Frage nach der Rassenanpassung von Europäern an das Tropenklima zu gering und vielleicht nicht einmal einwandfrei. Man könnte höchstens aus ihm schließen, daß die Möglichkeit der Fortpflanzung der Rasse unter günstigen hygienischen Verhältnissen vorhanden zu sein scheint. Aber die Tüchtigkeit der Rasse geht allmählich zurück und ihre Fruchtbarkeit vermindert sich. Um eine kräftige, widerstandsfähige und zahlreiche Nachkommenschaft zu erzeugen, scheint Blutvermischung mit den Eingeborenen notwendig zu sein.

Aussichtsreicher sind Siedelungsversuche im tropischen Höhenklima. Sie sind mehrfach unternommen worden, aber noch zu jungen Datums, um einwandfreie Schlußfolgerungen zuzulassen [1]).

[1]) Vgl. Hüppe, B. kl. W. 1901, und Schellong, Akklimatisation in Weyls Handb. d. Hygiene I, 1 (1894). Hier viele Literaturhinweise.

Das Polarklima.

Von Dr. med. J. Lindhard,
Prof. an der Universität Kopenhagen.

Polarklima bedeutet nicht dasselbe wie Klima der Polarländer. Zu den Polarländern rechnet man die Länder, die nördlich und südlich der Polarkreise liegen, während man vom Polarklima redet in allen Gegenden, wo die mittlere Jahrestemperatur 0° oder darunter ist. Man kann daher auch außerhalb der eigentlichen Polarländer ein Polarklima haben, und man braucht in den Polarländern kein Polarklima zu haben, indem die mittlere Jahrestemperatur nicht nur durch die geographische Breite bedingt ist. Das Polarklima läßt sich indessen in natürlicher Weise kaum durch eine Temperaturgrenze allein definieren. Das Klima eines Landes setzt sich aus vielen Momenten zusammen, von denen die Temperaturverhältnisse nur eins bilden. Der südlichste Teil von Grönland hat unzweifelhaft Polarklima, obschon die geographische Breite nur ungefähr 60° beträgt und obgleich die mittlere Jahrestemperatur zwischen 0° und + 1° liegt. Die Hauptsumme der klimatischen Elemente ist in diesen Gegenden dieselbe wie einige Kilometer weiter nördlich, wo die mittlere Jahrestemperatur 0° oder darunter beträgt, was aus einer Betrachtung des Pflanzen- und Tierlebens erhellt. Das Klima prägt die organische Welt, und man erhält somit durch eine Bestimmung der verschiedenen Klimate nach ihren biologischen Wirkungen eine natürlichere und also weit wertvollere Definition derselben, als durch die Bestimmung aus einem einzelnen physikalischen Verhältnis als Einteilungsbasis.

Beschränkt man sich auf das ausgeprägte Polarklima, was als das angemessenste erscheint, wenn dies Klima physiologisch charakterisiert werden soll, so ist die Frage von der natürlichsten Begrenzung des Gebietes von geringerem Interesse.

Die Länder oder Gegenden, in denen das Polarklima in reiner Form herrscht, sind entweder unbewohnt oder beherbergen nur eine an Zahl geringe, zerstreute, primitive Bevölkerung; nur vereinzelt trifft man wissenschaftliche Stationen oder Handelsplätze als Vorposten der Kultur. Unsere größte Kenntnis dieser Gegenden verdanken wir daher den Berichten geographischer Expeditionen; sie hat infolgedessen ein mehr oder minder zufälliges Gepräge, nicht nur was unser Wissen von den klimatischen Verhältnissen selbst betrifft, sondern in noch höherem Grade, wo es sich um die physiologischen Wirkungen des Klimas handelt.

Die Schwierigkeit einer Beschaffung von brauchbarem Material durch arktische (bzw. antarktische) Expeditionen beruht auf verschiedenen Ursachen: Charakter des Reiselebens selbst, dessen Flüchtigkeit, Unkenntnis der Arbeitsbedingungen, denen der Reisende sich unterwerfen muß, gescheiterte Pläne, verlorengegangene Instrumente usw.; die größten Schwierigkeiten bietet jedoch die Wahl des Personals dar.

Nur selten trifft man Leute mit genügender wissenschaftlicher Ausbildung, die imstande sind, sich nach den primitiven Arbeitsverhältnissen einzurichten, die eine Polarexpedition meist darbietet, und die zugleich so physisch gedrillt sind daß sie, ohne an Arbeitskraft zu verlieren, die Mühsale aushalten, denen sie dabei gelegentlich ausgesetzt werden. Schwierigkeiten dieser Art haben sich sehr oft eingestellt, nicht zum wenigsten bei der Wahl des Arztes, dem gewöhnlich die etwaigen physiologischen Untersuchungen zufielen. Es gehört leider nicht zu den Seltenheiten in der Geschichte der Polarexpeditionen, daß der Arzt unter den ersten ist, die da unterliegen — physisch oder moralisch. Die Arbeiten des Arztes gehören daher oft zu dem am wenigsten Wertvollen in den Berichten der Expeditionen. Das aus Polargegenden vorliegende physiologische Material ist äußerst sparsam und fragmentarisch. Es ist verhältnismäßig leicht, einen Mann das Ablesen des Thermometers oder Barometers oder das Aufzeichnen von Beobachtungen über Wind und Witterung zu lehren, und man kann sich nach und nach mittels der in der Weise gesammelten Nachrichten — einer Art klimatischer „Stichproben" — ein Gesamtbild von den meteorologischen Verhältnissen der Polargegenden machen; physiologische Beobachtungen und Versuche dagegen können nur von im voraus geschulten Leuten angestellt werden und erfordern im Gegensatz zu den elementaren klimatischen Beobachtungen eine verhältnismäßig bedeutende Apparatur, die nur unter einigermaßen guten Bedingungen in funktionsfähigem Zustand erhalten werden kann. Dunkel, Kälte und Feuchtigkeit werden ihrer Anwendung sehr oft unüberwindliche Hindernisse bereiten und jedenfalls dazu beitragen, daß dem Untersucher Mut und Arbeitslust verloren gehen. Der hier geschilderten Schwierigkeiten muß man sich erinnern bei der Beurteilung der Arbeit derjenigen, die sich als Pioniere der Physiologie in den Polargegenden versucht haben.

Es finden sich natürlich innerhalb des Polarklimas, des arktischen sowie des antarktischen, bedeutende Verschiedenheiten, teils, und zwar namentlich in betreff der geographischen Breite, teils auch in betreff der Lage, ob auf einer Insel oder einem Festlande, letzterenfalls ob im Inlande oder an der Ost- oder der Westküste. Da das vorliegende, äußerst sparsame Material aber die Durchführung einer solchen Sonderung in betreff der Physiologie der verschiedenen Klimate durchaus nicht gestattet, betrachte ich es als zwecklos, auf die klimatischen Eigentümlichkeiten der verschiedenen arktischen und antarktischen Stationen näher einzugehen und beschränke mich im folgenden auf eine eingehendere Besprechung der Verhältnisse an einer der — klimatisch sowie physiologisch — am besten untersuchten Stationen. Es ist dies die arktische Station „Danmarks Havn" in Nordostgrönland, wo die klimatischen Verhältnisse zwei Jahre hindurch von dem Meteorologen Dr. Alfred Wegener (Marburg) genau untersucht worden sind, und wo ich selbst innerhalb derselben Periode physiologische Untersuchungen angestellt habe, die — wenn sie auch, wie alle dergleichen Untersuchungen, fragmentarisch sind — doch ein für die Polarverhältnisse bedeutendes Material darstellen.

Die Station „Danmarks Havn", 76° 46′ N, $1^h\ 15^m$ W, hat ein ausgeprägt arktisches Klima. Die Winternacht ist 104 Tage (1. November bis 12. Februar), der Sommertag 117 Tage (25. April bis 19. August) lang. Die mittlere Temperatur des Jahres betrug —12,6°, die jährliche Schwankung, nach der mittleren Temperatur der Monate berechnet, etwa 32°. Das Klima ist also als ein Festlandsklima zu bezeichnen, obschon die Station unmittelbar am Meere gelegen ist. Der Grund dazu dürfte sein, daß das Meer das ganze Jahr hindurch mit Eis bedeckt ist. Der Fest-

landscharakter des Klimas tritt noch deutlicher hervor etwa 100 km westwärts, am Rande des Inlandeises, wo die Mindesttemperatur auch etwa 10° niedriger war; auf dem Plateau des Inlandeises geht das Klima dann ins kalte Wüstenklima über.

Die mittlere Monatstemperatur bei „Danmarks Havn" betrug:

August	September	Oktober	November	Dezember	Januar
+2,2	÷4,0	÷14,4	÷20,4	÷20,9	÷21,9
Februar	**März**	**April**	**Mai**	**Juni**	**Juli**
÷27,4	÷22,4	÷19,5	÷7,5	+1,1	+4,4

Das absolute Maximum betrug +17,1°, das absolute Minimum ÷40,9°. Die täglichen Schwankungen besaßen folgende mittlere Werte:

Herbst . .	6,4°	Frühjahr . .	9,1°
Winter . . .	8,2°	Sommer . . .	6,6°

Eine Betrachtung der mittleren Temperatur der einzelnen Tage ergibt folgende Gruppierung:

Frostfreie Tage	Frosttage	Eistage
Min. > 0	Min. $\leqq 0$ Max. > 0	Max. $\leqq 0$
34	71	260

Der Jahresniederschlag, meist Schnee, betrug 146 mm; vier Fünftel davon in den 6 Wintermonaten. Im Vorsommer kam recht oft Nebel vor. Die relative Feuchtigkeit war im übrigen ziemlich hoch, im Jahresdurchschnitt 80%; am geringsten war sie in den Herbstmonaten. Wegen der niedrigen Temperatur war indes die Wasserdampftension der Luft niedrig, im Durchschnitt nur 1,90 mm. Die Wolkendecke war am stärksten im Januar, am spärlichsten im April.

Der Luftdruck betrug, auf Meeresoberfläche reduziert und für Breite korrigiert im Mittel 760,0 mm, das absolute Minimum 724,1, das Maximum 784,4 mm. Die Jahreskurve wies ein stark ausgesprochenes Maximum auf im April—Mai, ein sekundäres, weit weniger ausgesprochenes im November—Dezember. Die herrschende Windrichtung war NW; östliche Winde traten nur im Vorsommer auf, und zwar immer in geringer Stärke (3—4 m pro Sekunde). Im Herbst und Winter kamen häufig Stürme vor; die Windstärke erreichte ein einzelnes Mal 30 Sekundenmeter. Die Stürme wirkten oft sehr gewaltsam, da sie meist mit Gestöber, Niederschlag und nicht selten mit hohem Luftdruck verbunden waren. Im Sommer stellten sich nur einzelne Male Stürme ein, und zwar immer als Föhn.

Zu erwähnen ist noch, daß Nordlichter recht allgemein waren, wenn die Station auch außerhalb der eigentlichen Nordlichtzone gelegen war, und daß das Leitungsvermögen der Luft für Elektrizität ein verhältnismäßig bedeutendes war. Im Sommer war die Sonnenstrahlung sehr intensiv und wurde in betreff der physiologischen Wirkungen durch die Reflexion von Schnee und Eis stark vermehrt; ein Stück horizontal gehaltenes photographisches Papier schwärzte sich fast gleich schnell, wenn die lichtempfindliche Seite nach oben gekehrt, wie wenn sie nach unten gegen den Schnee gewendet war. Die Wärmestrahlen zeigten deutlich ihre Wirkungen am Schwarzkugelthermometer durch eine Schneeschicht von etwa 20 cm Dicke[1]).

Will man versuchen, die physiologischen Wirkungen des Polarklimas zu beschreiben, so ist es am natürlichsten, mit allgemeinen Wirkungen anzufangen. Daß

[1]) Ein ausführlicher Bericht über die klimatischen Verhältnisse findet sich bei A. Wegener, Meddelelser om Grönland, Vol. XLII S. 125; Brand und Wegener, Ebenda S. 447; Lüdeling, Ebenda S. 77; J. P. Koch, Ebenda Bd. XLVI S. 451.

das Polarklima sogar in vorherrschendem Grade auf das Allgemeinbefinden des Menschen einwirkt, wird jedem Polarreisenden bekannt sein und wird denn auch in den meisten Reiseberichten, und zwar von allen Verfassern in gleicher Weise besprochen[1]).

Die beiden das arktische Klima beherrschenden Momente sind das Licht und die Temperatur; von diesen ist das Licht unzweifelhaft das wichtigere. Die große Teilungslinie in dem arktischen Jahre ist nicht diejenige, durch die zwischen einer kälteren und einer wärmeren Jahreszeit, sondern diejenige, durch die zwischen der „Zeit des Dunkels“ und der „hellen Zeit“ eine Grenze gezogen wird. Die Kälte kann gewisse praktische Unannehmlichkeiten mit sich führen, bedeutet physiologisch aber nur wenig für das menschliche Befinden, vielleicht weil man sich einigermaßen gegen sie schützen kann; dies tritt namentlich deutlich hervor im arktischen Frühjahr, das sich sowohl durch starkes Licht als durch starke Kälte charakterisiert, wo das menschliche Allgemeinbefinden aber durchaus vom Licht sein Gepräge erhält.

Am meisten springen die Eigentümlichkeiten in die Augen, die mit der Polarnacht verbunden sind. Während der dunkeln Periode hält man sich meist nicht im Freien auf; bei gutem Wetter kann man auf geeignetem Terrain, z. B. Fjordeis oder ebenem Meereis spazieren gehen, in der Regel jedoch nur in der Nähe der Station; im übrigen muß man sich „zuhause“ Bewegung verschaffen durch Fechten, Boxen od. dgl., indem der gewöhnliche Dienst an die körperlichen Kräfte keine nennenswerten Ansprüche stellt. Für Gehirnarbeit liegen die Verhältnisse äußerer Ursachen halber — wenig Platz, schlechte Beleuchtung, Störungen durch die Gefährten — recht schwer; die größten Schwierigkeiten sind jedoch innerer Natur: Arbeitskraft, Energie und Initiative sind stark vermindert. Man ist geneigt, wie bei Überanstrengung durch geistige Arbeit, stumpfsinnig dazusitzen und stundenlang vor sich hinzustarren; man setzt sich dies oder jenes vor, bringt es aber meist nur zu den Vorbereitungen, gibt eigentlich das Vorhaben nicht auf, das Ganze „verrinnt im Sande“; wenn der Tag zu Ende ist, entdeckt man, daß man nichts Nennenswertes ausgerichtet hat. Man ist schwerfällig und unaufgelegt, hat mit einer unüberwindlichen Trägheit aller Geistesgaben zu kämpfen, hofft stets, daß es sich bessern wird, wenn man ausgeschlafen hat. Der Schlaf ist unterbrochen und unruhig; Personen, die sonst gut schlafen, leiden an Schlaflosigkeit, können stundenlang daliegen, ohne einschlafen zu können, und wenn dies schließlich gelungen ist, erwachen sie wieder in demselben trägen, halbstumpfen Zustand, der sie am Tage beherrschte. Das Versagen der Geistesgaben wirkt auf die Stimmung; diese wird labil und reizbar, zu Depression geneigt, die jedoch nur selten den Charakter einer wirklichen Melancholie hat. Die Konversation unter den Gefährten gerät leicht ins Stocken oder nimmt einen zugespitzten Charakter an, auch wo es sich um Kleinigkeiten handelt; das Gefühl des Beleidigtseins, das doch selten lange anhält, ist allgemein. Man empfindet, daß man unter dem Einfluß von Kräften steht, die man nicht beherrscht; man zieht sich in sich selbst zurück, wird nachlässig in Kleidung und Reinlichkeit, wodurch man die Genossen reizt, denen es aber in derselben Weise geht. Man hat die einförmige Kost satt und ist mit der Zubereitung unzufrieden, speist aber dennoch mit gutem Appetit. Kränklichkeit in gewöhnlichem Sinne des Wortes kommt nicht vor.

In der hellen Zeit ist das Bild ein ganz anderes. Jede Arbeit geht leicht, sei es Muskelarbeit oder psychische Tätigkeit; man ist immer „aufgelegt“ und kann die

---

[1]) Verhältnismäßig ausführlich bei Gazert, Deutsche Südpolar-Expedition 1901—1903, Bd. VII Heft IV. — Meine Darstellung beruht auf meinen eigenen Notizen; sie stimmt in der Hauptsache mit Gazerts Bericht überein.

Arbeit auffallend lange fortsetzen, ohne zu ermüden. Man kann schlafen, wenn Gelegenheit dazu geboten wird, und der Schlaf ist meist von kurzer Dauer, tief und erfrischend. Die Stimmung ist meist heiter; man läßt sich gern mit den Gefährten in Gespräche ein, die einen leichten Verlauf haben ohne Reminiszenzen der Reibung, welche die dunkle Zeit kennzeichnete.

Der Unterschied zwischen der dunklen und der hellen Jahreszeit gibt sich auch anderwärts zu erkennen, ja wird unzweifelhaft an den meisten physiologischen Funktionen zu spüren sein. Da das Licht indes nicht das einzige wirksame klimatische Moment von physiologischem Interesse ist, und da es oft schwer oder gar unmöglich sein kann, die Kausalitätsverhältnisse eines konkreten Falles klarzulegen, wird es zweckmäßig sein, die Eigentümlichkeiten, die die Untersuchungen an den Tag gefördert haben, einer systematischen Besprechung zu unterwerfen, indem wir die Funktionen der untersuchten Organsysteme durchnehmen, um darauf die Bedeutung der einzelnen klimatischen Momente für deren Entstehen zu erklären zu suchen.

Vom Ernährungszustand scheint als allgemeine Regel zu gelten, daß man im Winter an Gewicht zunimmt und im Sommer abnimmt[1]), was annehmbar an der verhältnismäßig geringen körperlichen Bewegung in der dunkeln Jahreszeit liegt. Es gibt jedoch Ausnahmen, indem einzelne Individuen bei strenger körperlicher Arbeit zunehmen und bei Ruhe abnehmen. Während die Schwankungen des Körpergewichts also kaum direkt von klimatischen Verhältnissen herrühren, haben diese möglicherweise einen Einfluß sowohl auf die Quantität als auf die Qualität der genossenen Kost. Die Kost enthält oft verhältnismäßig viel Fett; die fetten Speisen ertragen die Europäer gut, ja sie spüren im allgemeinen ein gewisses Bedürfnis nach Fett[2]), das sich bis zu einem wahren „Fetthunger" steigern kann, so daß sie mitunter gar bedeutende Mengen von flüssigem Fett (Seehundspeck) trinken und sich dabei wohl befinden.

Das Bedürfnis nach Fett und die Toleranz fetten Speisen gegenüber herrschen nicht nur bei reisenden Europäern, sondern finden sich auch bei der eingeborenen Bevölkerung. Das Hauptnahrungsmittel der Eskimos ist Seehundfleisch, das Fett in sehr reichlicher Menge enthält und davon können sie, wenn sich die Gelegenheit bietet, ungeheure Quanta genießen. Nach Rinks[3]) Angaben kann ein junger, kräftiger Grönländer während der Fangzeit täglich 4—5 kg Seehundfleisch, mitunter noch mehr verzehren. Auf Grund von Rinks Angaben haben A. und M. Krogh[4]) die durchschnittliche tägliche Kost eines erwachsenen Eskimos zu 2640 Kalorien berechnet, nämlich:

	Protein g	Fett g	C-Hydrat g
Fleisch	190	120	30
Fisch	90	15	—
Brot	2	—	18
Zucker		—	6
Insgesamt	282	135	54

[1]) Ekelöf, Die Gesundheits- und Krankheitspflege während der schwedischen Südpolarexpedition 1901—1904, S. 22—23. — Lindhard, Health conditions on the Danmark Expedition (Meddelelser om Grönland, Vol. LXI S. 459).

[2]) Cavalli, Die „Stella Polare" im Eismeer, S. 529. — Lindhard a. a. O.

[3]) Rink, Grönland, det söndre Inspektorat. Kjöbenhavn 1857. S. 251.

[4]) A. und M. Krogh, The Diet and Metabolism of Eskimoes (Meddelelser om Grönland, Vol. LI, 1913).

Das Auffallendste dieser Nahrung ist der große Proteinstoffgehalt, der dadurch begründet sein mag, daß keine pflanzliche, sondern nur animalische Nahrung zur Verfügung steht. Der absolute Fettgehalt ist zwar nicht höher, als man es auch bei Europäern finden kann; die relative Zahl ist aber ungewöhnlich hoch, was in Verbindung mit dem gelegentlich bei den reisenden Europäern auftretenden wahren Fetthunger dahin gedeutet werden muß, daß Fett in der Nahrung unter diesen Verhältnissen einen besonderen Wert hat.

Es scheint bei den Eskimos keine regelmäßige jährliche Schwankung des Ernährungszustandes stattzufinden; er schwankt, sogar sehr stark, die Schwankungen stehen aber in direkter Verbindung mit der größeren oder geringeren Reichlichkeit der zu Gebote stehenden Nahrung. Es ist dagegen wahrscheinlich, daß das starke Bedürfnis nach reichlicher, fetthaltiger Kost mit den klimatischen Verhältnissen in Verbindung steht, und zwar wahrscheinlich in erster Reihe mit der niedrigen Temperatur. Es verdient im übrigen bemerkt zu werden (Krogh), daß die Lebensweise eines eskimoischen Fängers sowohl in betreff der diätetischen Gepflogenheiten als des täglichen Lebens in ausgeprägtem Grade an die der großen Raubtiere gemahnt.

Es mag hier eine Erscheinung kurz besprochen werden, die allen arktischen Reisenden unter dem Namen „Polardurst" bekannt ist. Solange man an der Station verweilt, ist der Durst leicht zu stillen, ohne daß man ihn besonders bemerkt, aber auf Reisen in der kalten Jahreszeit, wo kein Wasser aufzubringen ist, es sei denn, daß man Gelegenheit hat, Eis zu schmelzen, ist der Durst oft sehr stark und belästigend. Dies ist leicht zu erklären, wenn man bedenkt, daß die sehr kalte Luft, die nur minimale Mengen von Wasserdampf enthält, in den Lungen ungefähr bis zur Körpertemperatur erwärmt und bei dieser Temperatur fast mit Wasserdampf gesättigt wird. Es werden also in der Weise dem Körper bedeutende Wassermengen genommen, namentlich bei der anstrengenden Arbeit auf Schlittenreisen, wo die Respiration oft längere Zeit hindurch eine stark forcierte ist und wo gleichzeitig durch die Schweißausscheidung Flüssigkeit verloren geht.

Verdauung und Defäkation scheinen durch das Klima nicht beeinflußt zu werden, dagegen ist es offenbar nichts Ungewöhnliches, daß sich während der dunklen Jahreszeit, namentlich nachts, ein häufiges Bedürfnis des Harnlassens einstellt. Dies war auf der Danmark-Expedition allgemein und wird auch von Ekelöf[1]) erwähnt; er nimmt an, daß die Ursache in einer unzweckmäßigen Ernährung zu suchen ist, was doch kaum richtig ist. Die Ernährungsverhältnisse ließen auf der Danmark-Expedition nichts zu wünschen übrig und dennoch war die Erscheinung allgemein. Meines Erachtens ist sie einer direkten Wirkung der Kälte zuzuschreiben; sie gab sich namentlich zu erkennen, wenn man in undichten oder zugeeisten Kojen schlief. In keinem der untersuchten Fälle wurden im Harn pathologische Veränderungen nachgewiesen.

Die Körpertemperatur bietet unter arktischen Verhältnissen keine besonderen Veränderungen dar, doch kann man unzweifelhaft den Einfluß der Lufttemperatur sogar auf die Rektaltemperatur nachweisen[2]). So fand ich bei einem Versuchsindividuum auf einer Reise im April (Lufttemperatur ÷12 bis ÷31°) bei 10 Messungen unmittelbar nach dem Schlaf im Durchschnitt 36,26°, auf einer Reise im Mai—Juni (Lufttemperatur um 0°) im Durchschnitt von 15 Messungen zu derselben Zeit 36,52°

[1]) Ekelöf a. a. O.

[2]) Lindhard, The conditions governing the temperature of the body (Meddelelser om Grönland, Vol. XLIV, 1910).

Kleidung, Schlafbeutel und Kost waren in beiden Fällen die gleichen. Während der Seereise, wo dieselbe Person in einem Raum nahe bei der Schiffsmaschine schlief, ergaben 8 zu derselben Zeit angestellte Messungen im Durchschnitt 37,0°.

Der Einfluß der Lufttemperatur auf die Mundtemperatur ist in den arktischen Gegenden evident. Während die Differenz zwischen den Ergebnissen einer gleichzeitigen Temperaturmessung im Rektum und in der Mundhöhle (Sulcus alveololingualis) bei gewöhnlichen Temperaturverhältnissen nur wenige Zehntel eines Grades beträgt, fand ich in Nordostgrönland Differenzen, die das Maximum von fast 2° erreichten. Ferner fand ich bei Messungen der Mundtemperatur jeden zweiten Tag in der Periode 10. November bis 21. Dezember 1906 zu derselben Tageszeit und bei im übrigen gleichen Verhältnissen einen fast absoluten Parallelismus zwischen Mundtemperatur und Lufttemperatur im Zimmer. Tägliche Messungen vom 11. April bis 24. April 1907 ergaben ein ganz entsprechendes Resultat, nur mit dem Unterschied, daß beide Kurven etwas niedriger lagen. Eine Serie von Messungen, abwechselnd im Sulcus alveolo-lingualis und im Sulcus alveolo-buccalis, ergab eine durchschnittlich ½° höhere Temperatur an ersterer Stelle.

In noch höherem Grade wirkt die Lufttemperatur jedoch auf die Hauttemperatur. Die Hauttemperatur wurde mittels eines Thermometers, dessen Behälter in einer Planspirale senkrecht zur Thermometerskala gewunden war, gemessen. Der Behälter, welcher 24 mm maß, war durch eine Glasglocke von 30 mm Weite und 25 mm Höhe isoliert. Die Messungen an der Stirn dauerten 5 Minuten, an anderen Stellen 10 Minuten oder mehr. Es wurde immer berücksichtigt, daß sich die Glasglocke an der Haut genau anschließt, und der Stand der Quecksilbersäule wurde mittels eines Spiegels kontrolliert. Die folgende Tabelle veranschaulicht die Schwankungen der Hauttemperatur an einem Tage bei stillsitzender Arbeit:

	Tageszeit	Lufttemperatur	Hauttemperatur (Stirn)
16. 5. 1907	10,30 a. m.	2,5	30,9
	11,35 a. m.	5—10	32,4
	1,15 p. m.	18,5—19	34,0
	2,15 p. m.	21	35,7
	3,15 p. m.	17	34,4

Unter freiem Himmel üben auch andere klimatische Momente einen Einfluß aus auf die Hauttemperatur; dies zeigen folgende Messungen:

	Tageszeit	Mundtemperatur	Hauttemperatur (Stirn)	Lufttemperatur
2. 9. 1906	12 nachts	35,9	27,8	1,1
	4 a. m.	36,0	25,3	0,5 Wind
	10,45 p. m.	36,1	34,6	im Zimmer
	11,45 p. m.	36,2	34,2	" "
3. 9. 1906	12,15 a. m.	35,8	24,6	2,8 starker Wind
	4 a. m.	35,9	28,5	3,4 fast Stille

Die Erfrierungen der Haut, die oft bei sehr niedrigen Temperaturen vorkommen, namentlich, wenn es zugleich windig ist, wollen wir hier nicht näher besprechen, da sie trotz gleichmäßiger Übergänge als pathologische Erscheinungen zu betrachten sind.

In betreff des Kreislaufs und des Blutes ist das Material aus den Polargegenden äußerst geringfügig; wir besitzen meines Wissens keine einzige systematische Untersuchung, sondern nur vereinzelte Versuche von recht problematischem Wert.

Die Herzfunktion ist nicht direkt untersucht worden. Ich habe an der Station Danmarks Havn eine größere Anzahl Pulszählungen unter verschiedenen physiologischen Bedingungen angestellt, habe aber nichts entdeckt, das auf klimatische Eigentümlichkeiten deuten könnte. Ferner habe ich größere Reihen von Blutdruckmessungen mit Olivers Blutdruckmesser unternommen[1]). Sie ergaben in den Wintermonaten recht hohe Werte, um 150 mm, in betreff des diastolischen Drucks; ob man aber von diesen Resultaten auf eine gesteigerte Herzarbeit in der dunklen Jahreszeit schließen darf, lasse ich dahingestellt sein, da es mir nicht gelang, mir entsprechende Reihen aus den Sommermonaten zu verschaffen. Es zeigte sich im übrigen, daß der Blutdruck der Weite der entsprechenden Arterie, gemessen mit Olivers Arteriometer, parallel schwankt[2]).

In betreff des Blutes zielen die meisten Untersuchungen auf eine Bestimmung der etwaigen Schwankungen der Hämoglobinmenge und der Anzahl der Formelemente ab.

Blessing (zitiert von Cavalli a. a. O.) fand Hämoglobin und Erythrozytenzahlen unverändert. In Blessings eigenem kleinen Aufsatz[3]) finden sich keine Aufschlüsse. Cavalli[4]) fand bei einem von vier Versuchsindividuen vermehrte, bei einem unveränderte und bei zwei verminderte Hämoglobinmenge infolge der Winternacht. Ekelöf[5]) führt an, daß die Hämoglobinmenge im Winter wahrscheinlich vermehrt war. Die Erythrozytenanzahl betrug durchschnittlich 6 Millionen per Kubikmillimeter; es wurden einzelne Mikrozyten, aber keine kernhaltigen Blutkörperchen vorgefunden. Die Anzahl der Leukozyten war vermindert, im Durchschnitt fanden sich 4—5000 per Kubikmillimeter. Selbst fand ich bei Hämoglobinbestimmungen mittels Tallquists Skala an 16 Personen während der Periode September 1906 bis Februar 1907 eine Verminderung der Hämoglobinmenge von 9% (5—20) und im folgenden Winter an einer Person während derselben Periode eine Verminderung von 10%, welchem Resultat ich jedoch bei der Unzuverlässigkeit der benutzten Skala keine größere Bedeutung beimessen darf, obschon die Veränderungen in allen Fällen dieselbe Richtung hatten.

In betreff der Erythrozyten kam ich durch 42 Zählungen in Breuers Zählkammer mit Hayems Flüssigkeit zu einem ähnlichen Resultat wie Ekelöf, indem ich bei zwei Versuchsindividuen eine durchschnittliche Anzahl von 6,3 Millionen per Kubikmillimeter fand. Einen Unterschied zwischen der Anzahl im Sommer und im Winter habe ich nicht feststellen können.

Die Anzahl der Leukozyten, die in Breuers Zählkammer mit 0,3% Essigsäure als Mischflüssigkeit gezählt wurden, war eine recht schwankende von Individuum zu Individuum, es schienen aber keine Verhältnisse vorzuliegen, die als klimatische Wirkungen gedeutet werden konnten. Die Leukozytenzahl schwankte in längeren Versuchsperioden dem Blutdruck und der Arterienweite parallel. Differenzialzählungen von Leukozyten in gefärbtem Strichpräparat (Leishmans Färbung)

---

[1]) Lindhard, The fluctuations in the number of white blood corpuscles etc. (Meddelelser om Grönland, Vol. XLIV, 1910).

[2]) Olivers Instrumente sind beschrieben in: Pulse-gauging. London 1895.

[3]) Blessing, D. m. W. 1897 Nr. 16.

[4]) Cavalli a. a. O.

[5]) Ekelöf a. a. O.

ergaben einen Unterschied im Verhältnis zwischen der Anzahl von polynuklearen und mononuklearen Leukozyten, der auf eine Wirkung der dunklen Jahreszeit zurückgeführt werden zu können scheint. Ich zählte in jedem Präparat 400 Gesichtsfelder, im ganzen etwa 8500 Leukozyten, und das Resultat war in runden Zahlen:

		Winter	
		Anfang	Schluß
Versuchsindividuum I	Polynuklear	74%	60%
	Mononuklear	26%	40%
Versuchsindividuum II	Polynuklear	82%	70%
	Mononuklear	18%	30%

Es fragt sich nun, ob diese Vermehrung der Zahl der Erythrozyten eine wirkliche oder eine nur scheinbare ist. Cohnstein und Zuntz[1]) haben nachgewiesen, daß die Zahl der Erythrozyten je nach dem Zustand der Kapillaren eine verschiedene sein kann, und Loewy und seine Mitarbeiter[2]) haben erwiesen, daß im Höhenklima die Erythrozytenzahl im Kapillarblute mit der Temperatur in der Weise schwankt, daß bei höherer Temperatur eine größere, bei niedrigerer Temperatur eine kleinere Anzahl vorhanden war. Da die hier besprochenen Versuche alle mit Kapillarblut von dem Ohrläppchen oder der Fingerpulpa bei einer verhältnismäßig niedrigen Temperatur (etwa 10° C) angestellt worden waren, ist es mindestens wahrscheinlich, daß die Vermehrung der Erythrozytenzahlen von einer wirklichen Vermehrung der Erythrozyten herrührt.

Grimsgaard[3]), der im nördlichsten Norwegen Untersuchungen angestellt hat, fand bei erwachsenen Versuchsindividuen eine Verminderung der Hämoglobinmenge von etwa 6% des Mittels während der dunklen Jahreszeit. Die Erythrozyten, deren Anzahl um 5 Millionen per Kubikmillimeter betrug, wiesen keine regelmäßigen Schwankungen auf, die Leukozyten bei drei erwachsenen Personen aber eine Zunahme von ungefähr 23% während der dunklen Jahreszeit. Differentialzählungen von Leukozyten bei erwachsenen Versuchsindividuen ergaben Schwankungen in guter Übereinstimmung mit meinen Befunden, nämlich:

	Außerhalb der dunklen Jahreszeit	Während der dunklen Jahreszeit
Polynuklear	75%	71%
Mononuklear	20%	26,3%
Eosinophil	4,5%	2,3%

Die hier mitgeteilten Untersuchungen könnten darauf deuten, daß die Erythrozytenzahl in den hocharktischen bzw. antarktischen Gegenden eine verhältnismäßig hohe ist, daß die relative Anzahl von Lymphozyten während der dunkeln Jahreszeit zunimmt, und daß die Hämoglobinmenge in derselben Periode etwas abnimmt. Diese Annahmen sind jedoch alle vorläufig als sehr unsicher zu betrachten.

---

[1]) Pflüg. Arch. Bd. 42 S. 303 (1888).
[2]) Ibid. Bd. 66 S. 477 (1897).
[3]) Grimsgaard, De mörke Maaneders Indflydelse paa Blodet (Videnskabs-Selskabets Skrifter. Math.-Naturvid. Klasse 1910 Nr. 6).

Es verdient in diesem Zusammenhang bemerkt zu werden, daß andere Untersucher auf niedrigeren Breitengraden eine deutlich ausgesprochene jährliche Periode der Blutzusammensetzung gefunden haben. So fand Finsen[1]) in Kopenhagen eine bedeutende jährliche Schwankung der Hämoglobinmenge (bestimmt mit Gowers' Apparat), deren Maximum im Juli—September und deren Minimum im Februar—März lag. Bei 20 Männern und 9 Frauen fand er eine Zunahme der Hämoglobinmenge von 9—31% von März bis Juni—Juli 1893. Die Abnahme im darauffolgenden Winter war etwas geringer, im Durchschnitt 10.5%; bei einer Person war die Abnahme 0, bei einer anderen fand sich eine Zunahme von 3%. Zu bemerken ist, daß der erste Winter (1892/93) sehr kalt war.

In Christiania, dessen Klima sich mehr dem Polarklima nähert, untersuchte Louise Isachsen[2]) das Blut an 9 Männern und 4 Frauen im Alter von 18—38 Jahren. An 9 Personen wurde die Untersuchung von November 1906 bis Januar 1908, an den übrigen Personen eine etwas kürzere Periode hindurch durchgeführt. Es wurde auf Hämoglobin (Gowers), Erythrozytenzahl (Thoma-Zeiß), Leukozytenzahl (Thoma-Zeiß nach Zusatz von 1/2% Essigsäure) untersucht, und ferner wurde der Durchmesser der Erythrozyten am Strichtrockenpräparat gemessen. Die Hämoglobinkurve hatte ein Maximum im Juli, ein Minimum im Dezember—Januar; der Unterschied betrug in der ersten Periode 30,4, in der zweiten 20,9% und war etwas größer bei Männern als bei Frauen, nämlich bei Männern 31,5 bzw. 22,3%, bei Frauen 27,3 bzw. 18,5%. Die Erythrozytenzahl erreichte das Maximum im Juni, also etwas früher als das Hämoglobin; das Minimum lag im Dezember—Januar. Die Erythrozytenkurve verlief im ganzen genommen etwas weniger regelmäßig als die Hämoglobinkurve. Die jährliche Schwankung betrug bei Männern 17,3 bzw. 16,1%, bei Frauen 26,3 bzw. 14,2%. Die Erythrozytenzahl lag bei sämtlichen Personen zwischen 5 und 6 Millionen per Kubikmillimeter, die Hämoglobinzahl zwischen 112 und 143. Der Durchmesser der Erythrozyten verhielt sich umgekehrt der Anzahl; die Kurve hatte also ein Maximum im Dezember, ein Minimum im Juli. Der durchschnittliche Durchmesser betrug bei dem ersten Maximum 8,05 μ, Minimum 7,65 μ, beim zweiten Maximum 7,97 μ. Die Leukozyten wiesen keine jährliche Periode auf.

Namentlich letztere Untersuchungen, die bei guten Arbeitsbedingungen stattfanden, fordern in hohem Grade zu systematischen Untersuchungen in arktischen Gegenden auf, und zwar um so viel mehr, als die unten anzuführenden Respirationsversuche in Nordostgrönland und in Dänemark übereinstimmende Resultate ergeben haben.

Es gelang mir 1907—1908 in Danmarks Havn eine Reihe von Respirationsversuchen an einer Person durchzuführen, die sich derart über das Jahr verteilten, daß eine etwaige jährliche Periode der respiratorischen Funktion sich zu erkennen geben mußte[3]). Die Versuche fanden statt morgens, nüchtern, in bequem kniender Stellung, die Arme auf dem Tische ruhend. Es wurde durch Maske und Bohrs Ventil respiriert, und die Respirationsluft wurde durch einen Mischungsbehälter und ferner durch einen trockenen Gasmesser geleitet. Der Exspirationsluft wurden fortwährend Proben entnommen aus der Leitung zwischen Mischungsbehälter und Messer durch

[1]) Finsen, Om periodiske aarlige Svingninger i Blodets Hämoglobinmængde (Hospitalstidende 1891 Nr. 49—50).

[2]) Louise Isachsen, Om periodiske Variationer i Blodets Sammensætning (Archiv for Mathematik og Naturvidenskab, Bd. XXXII 1911).

[3]) Lindhard, Physiology of Respiration under the Arctic Climate (Meddelelser om Grönland, Vol. XLIV 1910).

eine enge Bleiröhre, die zu einem Quecksilberrezipienten führte. Die Luftprobe wurde nach dem Versuche auf Kohlensäure analysiert. Der Versuch dauerte ½ Stunde; die Zeit wurde in der Regel an einer Stoppuhr gemessen; das Versuchsindividuum zählte selbst die Respirationen. Folgende Funktionen wurden untersucht: Respirationsfrequenz, Respirationstiefe, Gesamtventilation (woraus die alveolare Ventilation späterhin berechnet wurde), CO_2-Produktion und alveolare CO_2-Spannung, welch letztere aus der durchschnittlichen Respirationstiefe, dem „schädlichen Raum“ (direkt bestimmt durch Messung von Maske und Ventil mit Wasser mit einem Zuschlag von 150 ccm für den persönlichen „schädlichen Raum“) sowie aus dem Kohlensäureprozentsatze der Inspirations- und Exspirationsluft nach der Bohr-Zuntzschen Formel berechnet wurde. Die Hauptergebnisse der Untersuchung finden sich in der folgenden Tabelle.

	Anzahl Versuche	Frequenz	Tiefe ccm	Alv. Vent. l/Min.	CO_2 p. kg u. Std. ccm	Alv. CO_2 mm	Zimmertemperatur °C
April 1907	7	10,1	976	6,82	212	30,6	11,1
Juni 1907	13	7,3	1362	7,74	238	29,4	11,2
August 1907	10	7,1	1491	8,45	241	26,7	10,5
November 1907	10	8,4	1269	7,85	237	29,6	11,9
Januar 1908	12	10,65	914	6,39	208	31,8	14,2

Wie man sieht, bieten sämtliche untersuchte Funktionen eine deutliche jährliche Periode dar. Die Wendepunkte der Kurven liegen im August und Januar, aber es ist natürlich nicht ausgeschlossen, daß der erste davon ein wenig früher, der zweite ein wenig später gelegen haben kann. Wie die Tabelle zeigt, nimmt die Frequenz im Sommer ab; gleichzeitig nimmt aber die Respirationstiefe in dem Maße zu, daß auch die alveolare Ventilation gesteigert wird, während die alveolare Kohlensäurespannung abnimmt; da der „schädliche Raum“ nicht experimentell bestimmt wurde, ist das absolute Niveau der CO_2-Spannung nicht ganz sicher; die Kurve liegt möglicherweise etwas zu niedrig, ihre Form wird aber jedenfalls dieselbe bleiben. Schließlich ist die Kohlensäureproduktion höher im Sommer als im Winter. Geht man von den Werten der Januarversuche aus, zeigt die Tabelle, daß

die Respirationsfrequenz um 32,4% abnimmt,
die Respirationstiefe um 63,1% zunimmt,
die alveolare Ventilation um 32,3% zunimmt,
die Kohlensäureproduktion um 15,9% zunimmt,
die alveolare CO_2-Spannung um 16,0% abnimmt.

Sehen wir vorläufig von der Kohlensäureproduktion ab, so sind diese Ergebnisse durch eine längere Versuchsreihe (4—500 Experimente an 5 erwachsenen männlichen Versuchsindividuen) in Kopenhagen bestätigt worden[1]. Diese Versuche zeigen, wenn man bei der Berechnung von den Winterversuchen ausgeht, eine jährliche Schwankung, die sich dadurch kennzeichnet, daß

die Respirationsfrequenz um 23,8% abnimmt,
die Respirationstiefe um 26,4% zunimmt,
die alveolare Ventilation um 14,85% zunimmt,
die alveolare CO_2-Spannung um 11,0% abnimmt.

[1]) Lindhard, The seasonal periodicity in respiration (Skand. Arch. f. Physiol. Bd. XXVI S. 221, 1912).

Es unterliegt kaum einem Zweifel, daß diese regelmäßigen Schwankungen vom Einfluß der klimatischen Momente herrühren, und unter diesen sind es namentlich zwei, auf die man aufmerksam sein muß, die Temperatur und das Licht. Aus Gründen, auf die wir später zurückkommen werden, ist es gewiß als ausgeschlossen zu betrachten, daß die vorliegende Konstellation von den Temperaturverhältnissen herrühren kann, während sehr gewichtige Argumente dafür sprechen, daß sie auf der verschiedenen Intensität des Lichts im Sommer und Winter beruht. Dafür spricht auch der Umstand, daß im Höhenklima Respirationsveränderungen auftreten, die den im arktischen Sommer vorkommenden[1] ganz entsprechen; der eigentliche Beweis liegt aber doch darin, daß man durch elektrische Bogenlichtbäder experimentell dieselben Erscheinungen hervorrufen kann, selbst schon durch Bestrahlung von Gesicht und Händen mit ultraviolettreichem Licht. Die auf diesem Gebiete grundlegenden Versuche wurden von Hasselbalch[2] ausgeführt, dessen Resultate später von mehreren anderen Untersuchern bestätigt worden sind. Bei Lichtbädern findet man stets eine Wirkung auf die hier besprochenen respiratorischen Funktionen, und zwar stets in der angeführten Richtung.

Für die Steigerung der Kohlensäureproduktion der arktischen Sommerversuche muß man aber nach einer anderen Erklärung suchen. Allerdings fand Hasselbalch bei seinen obenerwähnten Versuchen eine geringe Steigerung des respiratorischen Stoffwechsels nach Lichtbädern; dieser Befund ist aber durch seine späteren Versuche nicht bestätigt worden, wie auch Versuche in den Hochalpen von Hasselbalch und Lindhard keinen Anhalt dafür abgaben, daß das Licht anregend auf den Stoffwechsel wirken sollte. Bei meinen Versuchen, die jährlichen Schwankungen der Respiration in einem gemäßigten Klima zu bestimmen, fand ich bei einem von zwei Versuchsindividuen, die nüchtern Morgenversuche anstellten, eine Zunahme des Sauerstoffverbrauchs im Sommer von etwa 10%, während die Kohlensäureproduktion desselben Individuums ungefähr unverändert war. Ob diese Zunahme etwa auf Veränderungen der Kost beruht, läßt sich nicht entscheiden, da ich die Kost des Betreffenden nicht kannte, noch kontrollieren konnte. Auf der Danmark-Expedition war aber die Kost dieselbe im Sommer und Winter; für die Grönlandversuche ist eine solche Erklärung somit ausgeschlossen.

Mehrere Verfasser haben behauptet, daß vorausgehende körperliche Anstrengungen anregend auf den Ruhestoffwechsel wirken und daß diese Wirkung etliche Tage nach den Anstrengungen nachweisbar ist. Etwas Derartiges scheint jedoch der Stoffwechselsteigerung bei den arktischen Sommerversuchen nicht zugrunde liegen zu können. Die Versuchsreihe im November wurde angestellt, kurz nachdem das Versuchsindividuum von einer langen und sehr anstrengenden Schlittenreise zurückgekehrt war, und dennoch ist die Kohlensäureproduktion bei diesen Versuchen nicht größer als bei den Versuchen im Juni und August, wo keine nennenswerte Anstrengung vorausgegangen war. Es erübrigt somit noch zu untersuchen, ob die Stoffwechselsteigerung sich mit den Temperaturverhältnissen in Verbindung bringen läßt.

Daß die mittlere Temperatur des Ortes für die Frage nicht entscheidend sein kann, scheint daraus zu folgen, daß der Stoffwechsel bei sämtlichen Grönlands-

[1] Zuntz, Loewy, Müller, Caspari, Höhenklima und Bergwanderungen. Berlin 1906. Hasselbalch und Lindhard, Analyse des Höhenklimas usw. (Skand. Arch. f. Physiol. Bd. XXV S. 361, 1911).

[2] Hasselbalch, Det kemiske Lysbads Virkninger etc. Hospitalstidende 1905 Nr. 45—47.

versuchen höher liegt als in den Kontrollversuchen, die nach der Rückkehr an denselben Versuchsindividuen in Dänemark angestellt wurden. Eine akute Kältewirkung hat dagegen ohne Zweifel Einfluß auf den respiratorischen Stoffwechsel. Ich verfüge im ganzen über 8 arktische Versuche, die eine solche Kältewirkung aufweisen. Es muß hervorgehoben werden, daß in diesen Versuchen weder Muskelspannungen noch Zittern vorhanden war. Bei allen war der Stoffwechsel ein auffallend niedriger. 5 davon wurden im April 1907 bei einer mittleren Temperatur von 6,3°, 3 im Mai 1908 bei 7,6° angestellt. Das Ergebnis dieser Versuche war:

	Lufttemperatur	CO_2 pro kg und Stunde
April 1907	6,3	201
Mai 1908	7,6	203

Die einzelnen Versuche im April wiesen folgende Verhältnisse auf:

Lufttemperatur	CO_2 pro kg und Stunde
1,45	196
6,6	199
7,5	202
7,5	203
8,25	205

Dieser auffällige Parallelismus ist jedoch als zufällig zu betrachten, da die Schwankungen des Stoffwechsels innerhalb der Fehlergrenzen des angewandten Verfahrens liegen.

Bei den 3 Versuchen im Mai schwankte die Temperatur nur um 1°. Die Kälteversuche könnten darauf deuten, daß niedrige Hauttemperatur die Kohlensäureproduktion herabsetzt. Die jährliche Schwankung läßt sich jedoch kaum daraus erklären. Teils war die Temperatur im Laboratorium praktisch gesprochen in allen obenerwähnten Versuchsreihen dieselbe (10.5—14.2°), teils ist die Wirkung der Kälte auf die übrigen respiratorischen Funktionen verschieden von derjenigen der Jahreskurve, und es ist kaum wahrscheinlich, daß eine kombinierte Wirkung mehrerer klimatischer Momente die verschiedenen Schwankungen sollte hervorrufen können. Die Kälteversuche kennzeichnen sich durch

verminderte Frequenz,
verminderte Ventilation,
gesteigerte alveolare CO_2-Spannung,
verminderte Kohlensäureproduktion.

Namentlich das Verhalten der Frequenz scheint mir von entscheidender Bedeutung zu sein; man kann sich schwerlich die niedrige Frequenz und die hohe Kohlensäureproduktion der Sommerversuche durch eine kombinierte Wirkung von Licht und Temperatur erzeugt denken. — Die Stoffwechselsteigerung scheint sich also nicht auf Grund des vorliegenden Materials erklären zu lassen.

Schließlich haben wir noch die Wirkung des Polarklimas auf die Haut zu betrachten. Wie bekannt, sind alle Polarvölker stark pigmentiert, und es ist kaum zu bezweifeln, daß die Pigmentierung vom Einfluß des Sonnenlichts herrührt. Es erhellt

aus Finsens klassischen Versuchen sowie aus Versuchen von Hasselbalch und von Bernhard und Rollier, um nur einige der bekanntesten zu nennen, daß das Licht, namentlich das ultraviolette, eine Pigmentierung der Haut hervorruft, und zwar nach einem vorausgegangenen erythematösen Stadium, das je nach Intensität und Ultraviolettreichtum des Lichts ganz schwach sein und fast unbeachtet verlaufen oder bis zu ernsthafter Dermatitis steigen kann. Bei Europäern tritt in den arktischen Gegenden während der hellen Jahreszeit sehr schnell ein kräftiges Lichterythem oder eine Lichtdermatitis auf, wenn sie auf dem Schnee und Eis verkehren, indem das Licht sehr kräftig reflektiert wird; es folgt eine lebhafte Abschuppung der Epidermis; darauf stellt sich die Pigmentierung ein. Unterläßt man es, eine Schneebrille zu tragen, wird die Hautaffektion von einer Lichtkonjunktivitis begleitet (Schneeblindheit). Die Pigmentierung wird im Laufe des Sommers immer ausgesprochener und von einer bedeutenden Verdickung der Epidermis begleitet, die meistens gleichfalls als eine Lichtwirkung aufgefaßt wird. Im Laufe des Winters wird die Epidermis wieder dünner und die Pigmentierung verschwindet teilweise. Man hat zu Ende des Winters ein eigentümliches, graubleiches, gleichsam „stockfleckiges" Aussehen; eine Mißfärbung der Haut selbst im eigentlichen Sinne des Worts, wie man sie auf früheren Expeditionen fand[1]), scheint mir nicht vorzuliegen. In der nach der Winternacht dünneren Epidermis und mangelhaften Pigmentierung liegt wahrscheinlich der Grund dazu, daß die Frühjahrsmonate, namentlich Ende März und April, in denen die Temperatur verhältnismäßig niedrig ist, während das Licht sehr kräftig ist und von dem noch ganz schneebedecktem Gelände kräftig reflektiert wird, die Monate sind, wo es einen in den arktischen Gegenden am meisten friert.

[1]) Gyllencreutz, Undersökningar till förklaring af hudfärgens anmärkta förändring efter öfvervintring i polartrakterna. Mitgeteilt von F. Holmgren, Upsala läkareförenings förhandlingar, Bd. 19 (1884).

Sachregister.

A.

B.

M.

N.

T.

U.

V.

W

X.

Z.

Buchdruckerei Richard Hahn (H. Otto) in Leipzig.

VERLAG VON GEORG THIEME IN LEIPZIG

Handbuch
der
Balneologie
medizinischen Klimatologie und Balneographie

Herausgegeben im Auftrage der Zentralstelle für Balneologie von Wirkl. Geh. Ober-Med.-Rat Prof. Dr. **Dietrich** und Dr. **Kaminer**

Band I

Mit 89 Abbildungen und 1 Tafel

Goldmark 12.—, geb. 16.—

INHALT:

Einleitung. Wirkl. Geh. Obermed.-Rat Prof. Dr. Dietrich und Dr. Kaminer (Berlin) — **Abriß der Balneologiegeschichte.** Dr. med. Alfred Martin (Bad Nauheim) — **Geologie der Mineralquellen und Thermen, der Mineralmoore und der Mineralschlamme.** Geh. Bergrat Prof. Dr. Keilhack (Berlin) — **Chemie der Gewässer, Moore und Mineralschlamme:** Das indifferente Wasser. Professor Dr. Thiesing (Berlin-Dahlem). Die Mineralwässer, Moore und Mineralschlamme. Professor Dr. E. Hintz und Dr. L. Grünhut (Wiesbaden). Das Meerwasser. Professor Dr. A. Merz (Berlin) — **Die Physik des Klimas.** Dr. Eugen Alt (München) — **Die Physik der Sonnenstrahlung:** Die Sonnenstrahlung. Dr. Dorno (Davos). Radium und radioaktive Substanzen. Geh. Reg. Rat Prof. Dr. Marckwald (Berlin). — **Sachregister.**

Band II

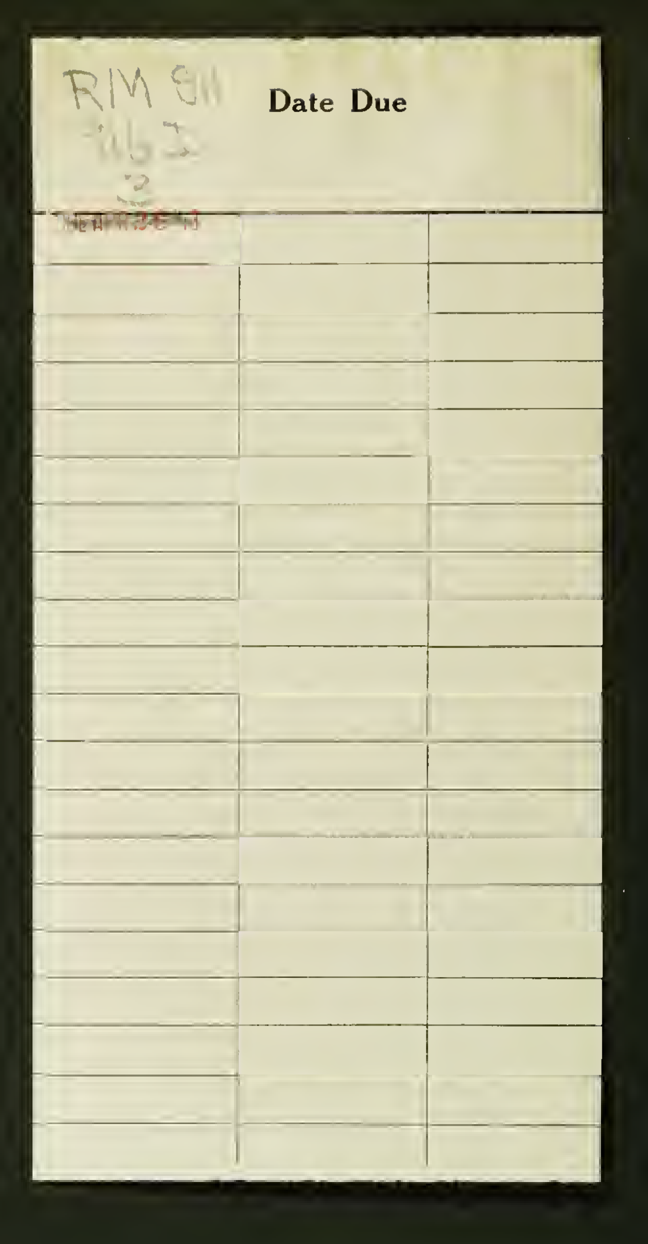
Mit 8 Kurven

Goldmark 6.—, geb. 9.—

INHALT:

Das Wasser bei äußerer Anwendung. Geh. Med.-Rat Prof. Dr. M. Matthes (Königsberg) — **Die Mineralwässer, Moore und Schlamme bei äußerer Anwendung.** Professor Dr. Fleischmann (Berlin) — **Meerwasser bei äußerer Anwendung.** Dr. C. Häberlin (Wyk) und Professor Dr. Franz Müller (Berlin) — **Pharmakologie der Mineralwässer.** Geh. Hofrat Prof. Dr. H. G. Meyer (Wien) und Dr. Julius Schütz (Baden bei Wien) — **Der Mineralstoffwechsel.** Professor Dr. Wolfgang Heubner (Göttingen). — **Sachregister.**




Date Due

